

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.Д. Писаренко  
“    ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Дипломний проект**  
освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр»

з напрямку підготовки **6.050802 – Електронні пристрої та системи**  
на тему: «Лампа біжучої хвилі»

Виконав:

студент 4 курсу, гр. ДЕЗ-41 **Радуга Андрій Миколайович** \_\_\_\_\_

Керівник:

доцент кафедри ЕП та П, к.т.н., доц. **Цибульський Л. Ю.** \_\_\_\_\_

Нормоконтроль:

доцент кафедри ЕП та П, к.т.н., доц. **Чадюк В. О.** \_\_\_\_\_

Рецензент

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (програма професійного спрямування) – 6.050802 –

Електронні пристрої та системи ( Електронні прилади та пристрої)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

\_\_\_\_\_ Л.Д.Писаренко

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломну роботу студенту

**Радуці Андрію Миколайовичу**

**1. Тема роботи** «Лампа біжучої хвилі»

і керівник роботи Цибульський Леонід Юрійович, доцент, к.т.н.

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р., № \_\_\_\_\_

**2. Термін подання** студентом проекту «5» червня 2019 р.

**3. Вихідні дані до проекту:** вихідна потужність ЛБХ  $P_{\text{вих}}=100$  Вт; смуга робочих частот  $\Delta f=7,5\div 15$  ГГц; коефіцієнт підсилення  $K_{\text{підс.}}=40$  дБ; коефіцієнт корисної дії  $\text{ККД}=20$  %; коефіцієнт шуму  $K_{\text{шуму}}=300$ .

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:** Анотація; вступ; конструкція та функціонування лампи біжучої хвилі; Основні параметри та характеристики ЛБХ; розробка конструкторської документації; вибір компонентів.

**5. Перелік графічного матеріалу:** функціональна схема системи взаємодії з периферійними пристроями, електрична схема системи взаємодії з периферійними пристроями; допоміжні графічні матеріали.

**6. Дата видачі завдання** 21.03.2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури по принципам роботи ЛДХ. Конструкція ЛБХ та її елементів	21.03.2019– 05.04.2019	
2	Основні параметри та характеристики ЛБХ	06.04.2019– 19.04.2019	
3	Залежність основних параметрів від електричного режиму	20.04.2019– 25.04.2019	
4	Вибір компонентів ЛБХ	26.04.2019– 5.05.2019	
5	Розрахунок гармати ЛБХ	6.05.2019– 12.05.2019	
6	Конструкція і параметри катоду	12.05.2019– 17.05.2019	
7	Розрахунок уповільнюючої системи ЛБХ	18.05.2019– 24.05.2019	
8	Оформлення пояснювальної записки.	25.05.2019– 28.05.2019	
9	Перевірка тексту ПЗ на унікальність	3.05.2019	
10	Креслення плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді.	10.06.2019	
11	Підписання дипломної роботи	16.06.2019	
12	Захист дипломної роботи	20.06.2019	

Студент гр. ДЕЗ-41 \_\_\_\_\_ А.М. Радука

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Л.Ю. Цибульский

## РЕФЕРАТ

### Лампа біжучої хвилі

Дипломний проект освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності 171– Електроніка, спеціалізації – Електронні прилади та пристрої. Радука Андрій Миколайович. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕЗ-51. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 67 с., іл. 27, табл. 3.

**Ключові слова:** лампа біжучої хвилі, коефіцієнт шуму, прилади НВЧ, частотний діапазон.

Короткий зміст роботи: Розроблено конструкцію ЛБХ середньої потужності, яка забезпечує в середині діапазону 7,5÷15 ГГц ( $\lambda=2,5$  см) при прискорюючій напрузі 750 В, підсилення по потужності 40 дБ. Вихідна потужність ЛБХ  $P_{\text{вих}}=100$  Вт; коефіцієнт корисної дії ККД=20 %; коефіцієнт шуму  $K_{\text{шуму}}=300$ . Розроблено рекомендації по вибору елементів ЛБХ, погодження їх експлуатаційних та конструктивних параметрів. Проведено розрахунок конструкції елементів ЛБХ і режимів її експлуатації: системи уповільнення у вигляді спіралі; системи фокусування; вхідні та вихідні елементи зв'язку; колектор; трьохелектродна гармата з оксидним.

## АНОТАЦІЯ

В даній роботі розглядається лампа біжучої хвилі – надвисокочастотний пристрій який може використовуватись як підсилювач сигналів або генератор. Робота ЛБХ базується на довготривалій взаємодії потоку електронів з надвисокочастотним електромагнітним полем. ЛБХ використовується в локаційних станціях, системах супутникового зв'язку та телебачення.

ЛБХ має низькі шумові показники та функціонує в широкому діапазоні частот. Може підсилювати дуже слабкі високочастотні сигнали і генерувати надпотужні імпульси. В роботі містяться результати проведення порівняльного аналізу існуючих конструкцій ЛБХ та їх параметрів, а також розрахунку електронної гармати ЛБХ.

## ANNOTATION

In this work the lamp of progressing wave is examined is super-high-frequency device which can be used as strengthener of signals or generator. Working LPW is based on of long duration co-operation of stream of electrons with the super-high-frequency electromagnetic field. LPW is used in the radio-location stations, satellite communication and television networks.

LPW has low noises indexes and functions in the wide range of frequencies. Can strengthen very weak high-frequency signals and generate super-power impulses. There are the results of read-through of comparative analysis of existent constructions of LPW and their parameters in a working, and also calculation of electronic cannon of LPW.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ....	7
ВСТУП.....	8
1. ЛАМПА БІЖУЧОЇ ХВИЛІ ЯК ГЕНЕРАЦІЙНО-ПІДСИЛЮЮЧИЙ ПРИСТРІЙ .....	10
1.1 Принцип роботи ЛДХ.....	10
1.2 Конструкція ЛБХ та її елементів.....	12
1.2.1 Конструкція ЛБХ .....	12
1.2.2 Конструкція елементів арматури .....	17
1.3 Висновки до розділу .....	21
2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ТА ХАРАКТЕРИСТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛБХ.....	23
2.1 Основні параметри та характеристики ЛБХ .....	23
2.1.1 Коефіцієнт підсилення.....	23
2.1.2 Діапазон робочих частот .....	26
2.1.3 Коефіцієнт шуму .....	27
2.1.4 Вихідна потужність.....	30
2.1.5 Залежність основних параметрів від електричного режиму .....	31
2.2 Функції, що виконує ЛБХ в апаратурі.....	37
2.3 Висновки до розділу .....	43
3 ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА РОЗРАХУНОК ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛБХ .....	45
3.1 Вибір компонентів .....	45
3.2 Розрахунок гармати ЛБХ.....	46
3.3 Конструкція і параметри катоду.....	50
3.4 Розрахунок уповільнюючої системи ЛБХ .....	52
3.5 Характеристики та конструкція уповільнюючої системи .....	55
3.6 Висновки до розділу .....	62
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	67
ДОДАТКИ.....	68

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Радука А.М..			Лампа біжучої хвилі  Пояснювальна записка	Літ.	Арк.
Перевір.		Цибульский Л.					Аркуші
Н. Контр.		Чадюк В.О.				КП, ФЕЛ, ДЕ-341	
Затверд.		Писаренко Л.Д					

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ККД – коефіцієнта корисної дії;

КСХН – коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі;

ЛБХ – лампа біжучої хвилі;

$d$  – діаметр проволочки уповільнюючої системи, см;

$h$  – крок спіралі, см;

$I$  – струм пучка, мА;

$I_0$  – струм уповільнюючої системи;

$j_k$  – густина струму з катоду, 0,05 А/см<sup>2</sup>;

$K_y$  – коефіцієнт підсилення, дБ;

$N_{од}$  – коефіцієнт шуму, відн. од.;

$P_{вих}$  – вихідна потужність ЛБХ, Вт;

$P_{вх}$  – вхідна потужність, Вт;

$P_{пр}$  – чутливість, потужність вхідного сигналу при перевищенні сигналу над шумами в два рази, Вт;

$r_{min}$  – мінімальний перетин пучка, 0,3 см;

$R$  – радіусу зовнішнього провідника (екрану) уповільнюючої системи;

$T_e$  – еквівалентна шумова температура;

$U_a$  – напругу анода;

$W$  – хвильовий опір уповільнюючої системи;

$\Delta f$  – ширина смуги, Гц;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$\xi_{a0}$  – умовний кут прольоту.

					<i>ЗБР 6.050802.041 ПЗ</i>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Створення і розвиток нових інформаційних та навігаційних систем багатьом завдячує пристроям надвисокочастотного діапазону. Проблеми передачі інформації на великі відстані або рухомому приймачу з'явилися відразу після виникнення перших систем зв'язку. Проблема зміни положення передавача або приймача могла бути вирішена тільки застосуванням систем які б використовували без провідні типи зв'язку. При цьому потрібно було, щоб сигнал мав мінімальні шуми при прийомі, міг передаватись на великі відстані та велику швидкість передачі. Всі ці критерії задовольняв надвисокочастотний діапазон. Великий вклад в зачатки розвитку НВЧ систем зробила військова промисловість, так як на той час тільки ця галузь найбільше потребувала даного типу зв'язку та могла вкладати великі кошти в новітні розробки.

З розвитком НВЧ технологій і зростанням робочої частоти приладів зростала швидкість та ефективність передачі інформації, збільшувалася відстань передачі інформації. Створення нових високошвидкісних літаків викликало необхідність управління їх польотом. НВЧ техніка дала змогу вирішити цю проблему: завдяки створенню систем радіолокації, які могли визначити координати літака з малою похибкою.

Створення і запуск нових космічних систем теж потребувало передачі інформації на дуже великі відстані без ретрансляції і утрат, цю проблему можна було вирішити теж тільки в НВЧ діапазоні, так як на інших частотах сигнал не міг «пройти» верхні прошарки атмосфери.

Масове використання в наш час систем мобільного зв'язку та систем комп'ютерних, так званих «Wireless», мереж є каталізатором для розвитку і виробництва НВЧ техніки.

В дипломній роботі розглядається пристрій НВЧ діапазону – лампа біжучої хвилі (ЛБХ). ЛБХ – пристрій, робота якого базується на довготривалій взаємодії потоку електронів з електромагнітним полем НВЧ сигналу. Основними перевагами ламп біжучої хвилі є:

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



– можливість підсилення сигналу в широкому діапазоні частот. Діапазон частот ЛБХ набагато перевищує діапазон приладів в яких використовуються резонансні елементи (наприклад, клістрон, в якому електронний потік взаємодіє з полем об'ємних резонаторів).

– малий рівень власних шумів дає змогу використовувати ЛБХ як вхідні каскади приймальних пристроїв з високою чутливістю.

Дані властивості дають змогу використовувати ЛБХ в багатьох пристроях. В наш час випускають багато видів ЛБХ, від малoshумлячих, які здатні реагувати на сигнал потужністю в мільйонну частину мілівата і до надпотужних, імпульсних, що випромінюють за один імпульс мільйони ват. Як правило ЛБХ використовують в складних електронних системах, в яких потрібна велика надійність.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ЛАМПА БІЖУЧОЇ ХВИЛІ ЯК ГЕНЕРАЦІЙНО-ПІДСИЛЮЮЧИЙ ПРИСТРІЙ

## 1.1 Принцип роботи ЛДХ

Принцип роботи ЛБХ заснований на взаємодії потоку електронів з поздовжньою складовою електричного високочастотного поля біжучої хвилі, яка розповсюджується вздовж руху електронного потоку [1, 2].

Процес взаємодії електронного потоку з полем біжучої хвилі можна описати наступним шляхом. Нехай деякий момент часу рівномірний потік електронів знаходиться в полі біжучої хвилі (рис. 1.1,а), причому швидкість руху потоку і швидкість розповсюдження хвилі в напрямку руху потоку однакові. Електрони (на рисунку позначені кружками), які знаходяться в полі додатного півперіоду, будуть прискорюватись, а електрони, що знаходяться в полі від'ємного півперіоду хвилі, під впливом поздовжньої складової поля будуть гальмуватись. Направлення дії сил високочастотного поля показано стрілками. В результаті взаємодії потоку з високочастотним полем в деякий момент часу електрони будуть згруповані в згустки. Якщо швидкість електронного потоку і швидкість розповсюдження біжучої хвилі вздовж напрямку руху потоку однакова, то групування електронів буде відбуватись в тій області де значення поздовжньої складової електричного поля біжучої хвилі буде міняти знак з додатного на від'ємний (рис. 1.1,б). В цьому випадку згруповані електрони будуть рухатись синхронно з електромагнітною хвилею і обміну енергією між потоком електронів і біжучою хвилею не буде.

Якщо швидкість електронного потоку буде дещо перевищувати значення фазової швидкості електромагнітної хвилі, то згустки електронів будуть групуватись в точках, де поздовжня складова поля від'ємна (рис. 1.1,в). Під дією гальмуючого поля від'ємного півперіоду згустки електронів будуть гальмувати свій рух, при цьому частина їх кінетичної енергії буде передаватись високочастотному полю, в результаті чого буде відбуватись підсилення високочастотного сигналу.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для введення сигналу в ЛБХ використовують вхідний та вихідний хвилеводи, які зв'язані з системою уповільнення за допомогою пристроїв узгодження.

Для того, щоб у нас відбувалась ефективна взаємодія потрібно щоб електронний потік був сфокусований. Фокусуюча система може бути у вигляді соленоїду або постійних магнітів, які розташовані навколо лампи. Більш докладно про фокусуючі системи та елементи зв'язку буде написано нижче.

Формування електронного пучка відбувається за допомогою електронної гармати. Після проходження системи уповільнення електрони попадають на колектор. Розрахунок гармати, та її описання приведено нижче [2].

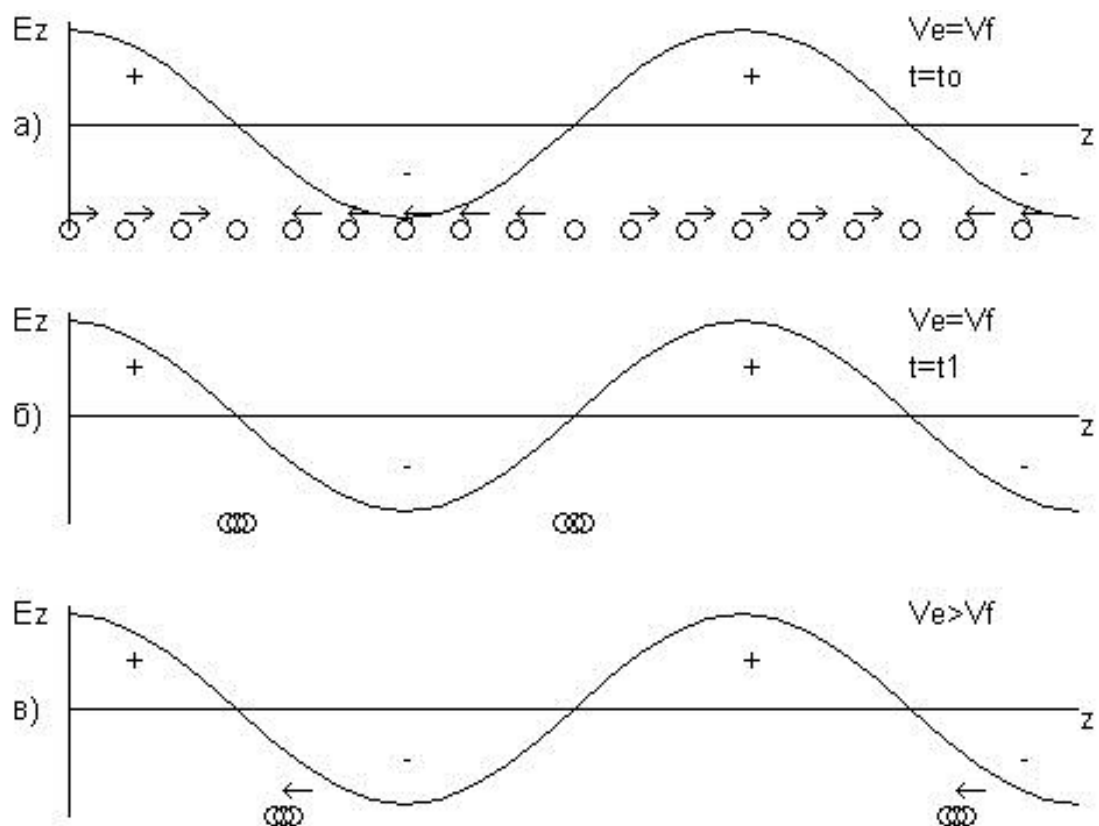


Рисунок 1.1 – Взаємодія потоку електронів з полем біжучої хвилі

## 1.2 Конструкція ЛБХ та її елементів

### 1.2.1 Конструкція ЛБХ

В залежності від призначення і потрібних електричних параметрів ЛБХ може мати різне конструктивне виконання. Але всі конструкції ЛБХ мають елементи, потрібні для реалізації описаного принципу взаємодії електронного потоку з біжучою хвилею.

Схематична конструкція ЛБХ показана на рис.1.2. Вона складається з наступних елементів: електронної гармати, системи уповільнення, вхідного та вихідного елементу зв'язку, зосередженого поглинача та колектора.

Для того щоб ЛБХ могла підсилювати високочастотний сигнал, вона повинна бути поміщена в спеціальну арматуру (рис. 1.3), яка складається з вхідного та вихідного виводів сигналу (елементів зв'язку), системи фокусування, центруючого пристрою та елементів настройки ЛБХ. В загальному вигляді ЛБХ в комплекті з арматурою складає закінчену конструкцію НВЧ підсилювача на ЛБХ [2, 3].

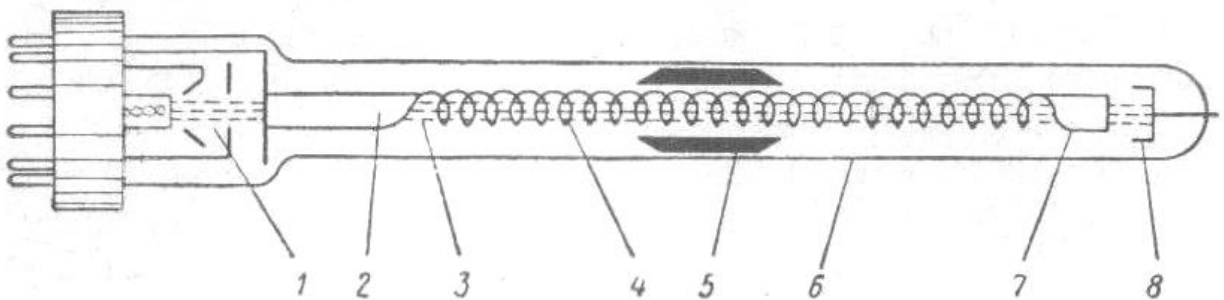


Рисунок 1.2 – Схематична конструкція ЛБХ.

1 – електронна гармата; 2 – вхідний елемент зв'язку; 3 – потік електронів; 4 – система уповільнення; 5 – зосереджений поглинач; 6 – балон лампи; 7 – вихідний елемент зв'язку; 8 – колектор.

За допомогою електронної гармати, яка складається із розжарювального катоду і системи електродів, створюється потік електронів з потрібними параметрами ( з густиною струму, швидкістю електронів, формою перетину і т. д.). Конструкція електронних гармат в значній степені визначається вимогами отриманих електричних параметрів ЛБХ.

Електронні гармати малошумлячих ЛБХ конструюються з врахуванням отримання мінімального значення коефіцієнта шуму, тому що основним джерелом шуму в ЛБХ являються шуми, зв'язані з хаотичним характером емісії електронів з катоду. Це призводить до нерівномірності густини і швидкості руху електронів в потоці. Для отримання мінімального коефіцієнту шуму необхідно щоб потік електронів мав мінімальні розходження по густині та по швидкості. Цього можна досягнути використанням спеціальних видів гармати, яка дозволяє шляхом підбору напруг на її електродах отримати потрібний закон зростання електричного поля вздовж гармати.

У малопотужних підсилювальних ЛБХ, де значення коефіцієнту шуму не так важливе, використовуються звичайні діодні та тетродні гармати.

Для підсилювальних ЛБХ, в яких для отримання необхідних значень потужностей потрібні значні густини струмів в електронному потоці, електронні гармати конструюються таким чином, щоб отримати збіжний електронний потік в межах гармати. Це дозволяє при порівняно малому відборі струму з катоду отримати необхідну густину електронного потоку в просторі взаємодії [4 - 6].

На рис.1.3 показаний приклад конструкції електронної гармати.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

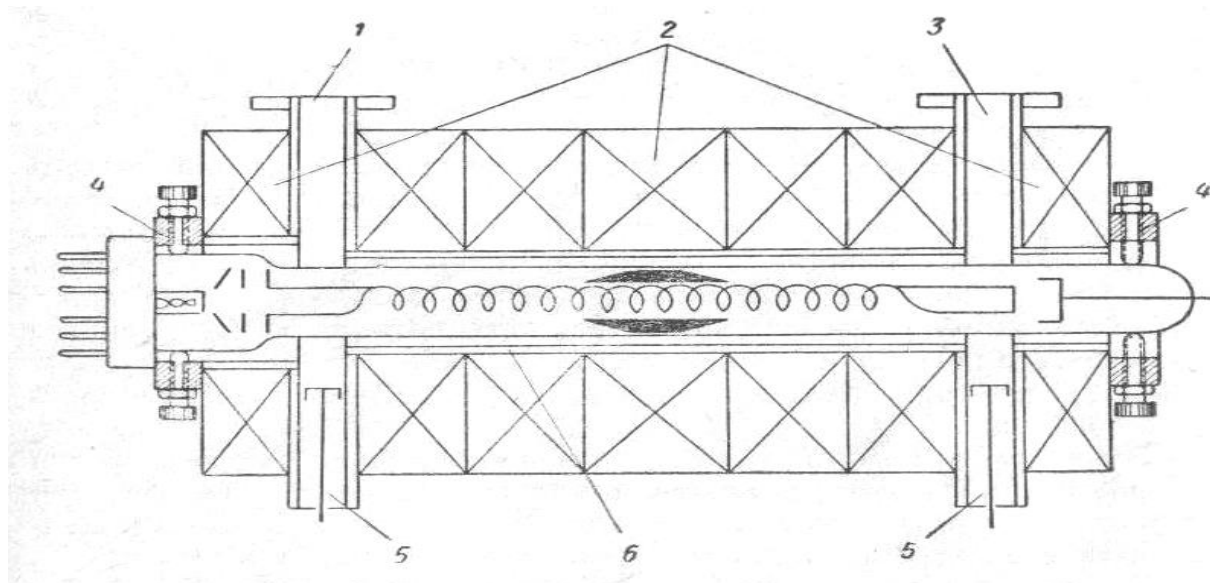


Рисунок 1.3 – Схематична конструкція арматури:

1 – вхідний хвилевід; 2 – фокусуючи система; 3 – вихідний хвилевід; 4 – пристрій центрування; 5 – елементи настройки; 6 – внутрішня труба арматури

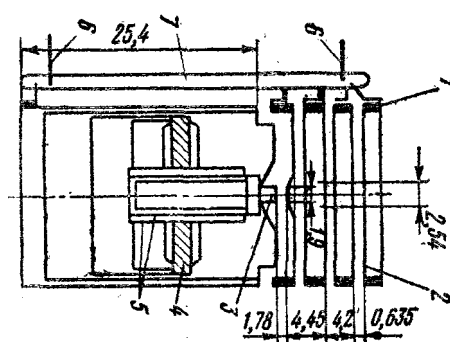


Рисунок 1.4 – Конструкція трьоханодної електронної гармати:

1 – втулки; 2 – анодні диски товщиною 0,127мм; 3 – катод; керамічне підтримуюче кільце; 5 – теплові екрани; 6 – опорні ніжки; 7 – скляний штабик

Система уповільнення призначена для зменшення швидкості розповсюдження електромагнітної хвилі, а точніше, фазової швидкості хвилі. Це необхідно для ефективної взаємодії електричної складової хвилі з електронним потоком [7,8].

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У багатьох видах ЛБХ (працюючих в діапазоні 500 – 15000 МГц) використовується система уповільнення у вигляді спіральної коаксіальної лінії, утвореної внутрішньою трубкою арматури та спіраллю, виготовленої з металічного проводу. Потік електронів рухається в середині спіралі (рис. 1.5).

Відомо, що електромагнітна хвиля розповсюджується вздовж коаксіальної лінії з прямим центральним провідником зі швидкістю світла. Якщо центральний провідник виготовити не прямолінійним, а у вигляді спіралі, то електромагнітна хвиля буде розповсюджуватись з швидкістю світла вздовж провідника і буде послідовно обходити витки спіралі. При такому русі електромагнітної хвилі швидкість її розповсюдження вздовж осі спіралі буде менше швидкості світла в стільки разів, в скільки раз загальна довжина спіралі менше довжини провідника, з якого вона виготовлена.

Геометричні розміри спіралі (крок, внутрішній та зовнішній діаметр, тощо) визначаються електричними параметрами ЛБХ.

Однією з найважливіших властивостей такої системи уповільнення є її широкополосність. Ця властивість пояснює малу залежність від частоти, швидкості розповсюдження хвилі вздовж спіралі, дає змогу зберегти ефективну взаємодію електронного потоку з НВЧ полем в широкому діапазоні частот.

Для закріплення системи уповільнення використовують кварцові або керамічні стержні. У малопотужних та малочастотних ЛБХ частина уповільнюючої системи покривається графітом або іншим матеріалом, який ефективно поглинає високочастотну енергію. Він служить зосередженим поглиначем, який необхідний для упередження самозбудження ЛБХ. Конструкції зосередженого поглинача можуть бути різними і залежать від параметрів ЛБХ.

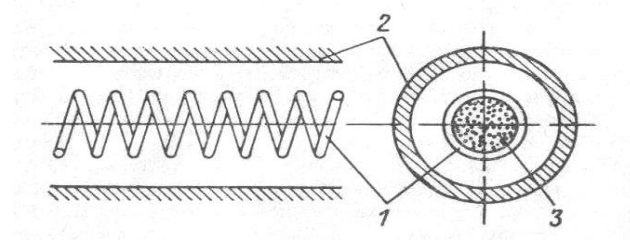


Рисунок 1.5 – Система уповільнення ЛБХ:

1 – спіраль; 2 – внутрішня труба арматури; 3 – потік електронів

Існує багато інших видів систем уповільнення: у вигляді діафрагмованого хвилеводу, у вигляді послідовності резонаторів з додатною взаємною індуктивністю, система уповільнення «клеверний лист», зустрічноштиреві та ін.

Для подачі на вхід системи уповільнення височастотного сигналу, і передачі вихідного сигналу в вихідний пристрій ЛБХ служить вхідний і вихідний елементи зв'язку. В залежності від властивостей ЛБХ вони можуть мати різну конструкцію. В якості прикладу на рис.1.6 схематично зображена конструкція елемента зв'язку, який представляє собою відрізок трубки, що вставляється в хвилевід арматури перпендикулярно її широкій стінці, до якого прикріплюється відрізок спіралі з змінним кроком. Відрізок циліндричної трубки служить як би антеною між хвилеводом та спіральною лінією. Для узгодження хвильових опорів відрізка циліндричної трубки та системи уповільнення служить відрізок спіралі зі змінним кроком. Пристрій вихідного елемента зв'язку, як правило, аналогічно пристрою вхідного. В результаті взаємодії з полем біжучої хвилі електронів відбувається передача частини енергії електронів НВЧ полю та наступне попадання їх на колектор.

У малощумлячих ЛБХ колектор звичайно представляє собою металевий стакан розміщений в середині балону. У ламп з вихідною потужністю більш як 0,5 – 2 Вт колектор має розвинену зовнішню поверхню, яка охолоджується потоком повітря. Для охолодження ламп з вихідною потужністю більш 10 Вт використовується примусове повітряне або рідинне охолодження.

Основні елементи конструкції ЛБХ – електронна гармата, система уповільнення, елементи зв'язку та колектор – як правило знаходяться в скляному балоні, в середині якого створюється тиск порядку  $10^{-7} - 10^{-9}$  мм. рт. ст., що необхідно для проходження електронного потоку на довжину ЛБХ. Інколи балон виробляють з металу або кераміки, що підвищує експлуатаційні характеристики ЛБХ (стійкість до механічних та температурних впливів).

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



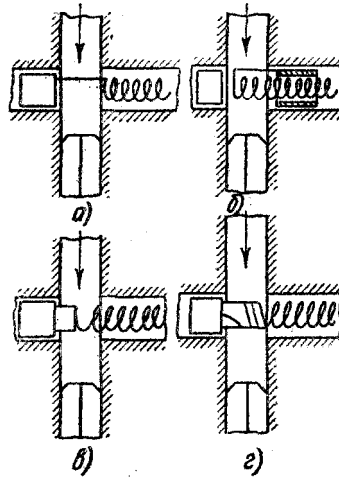


Рисунок 1.6 – Деякі варіанти можливого узгодження спіральної системи уповільнення з хвилеводом

### 1.2.2 Конструкція елементів арматури

Для забезпечення проходження електронного потоку в середині системи уповільнення його необхідно фокусувати. Існує декілька способів фокусування електронного потоку. Так як фокусувальна система являється основним елементом арматури, вибір того чи іншого способу фокусування електронного потоку в значній степені визначає конструкцію ЛБХ. Частіше всього для фокусування використовують постійне або періодичне магнітне поле.

Механізм фокусування електронного потоку за допомогою постійного магнітного поля базується на тому, що електрони, напрямок руху яких співпадають з напрямком магнітних силових ліній, не взаємодіють з магнітним полем. А ті електрони, що відхилились від напрямку силових ліній магнітного поля, під дією цього поля починають рухатись по спіральним траєкторіям. Вісі цих спіральних траєкторій паралельні силовим лініям магнітного поля. Чим сильніше поле, тим менше радіус спіральних траєкторій електронів, тим краще фокусування потоку.

Для створення постійного магнітного поля звичайно використовують соленоїд, тому такий спосіб фокусування інколи називають електромагнітним.

Обмотка соленоїда виготовлена з мідного дроту круглого або прямокутного перетину. Для відведення тепла, яке виділяється в соленоїді, і підбору розподілу

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

магнітного поля вздовж осі арматури його обмотка робиться не суцільною, а у вигляді окремих секцій, які одягаються на циліндричну трубу із немагнітного матеріалу. Циліндрична труба служить одночасно зовнішнім провідником спіральної коаксіальної лінії. Недоліком соленоїдів, виготовлених з мідного проводу, являється їх значна вага, яка доходить в окремих випадках до декількох десятків кілограм.

В апаратурі, яка застосовується на передвижних об'єктах, для зменшення маси в якості матеріалу для намотки використовується оксидована фольга з алюмінію. Але ще потрібно брати до уваги, що арматури в яких використовують соленоїд для фокусування є громіздкі. По цій причині ЛБХ, які призначені для роботи в апаратурі з електромагнітним фокусуванням, як правило, мають пакетну конструкцію, тобто випускаються з заводу без арматури. Пакетовані ЛБХ використовують іншу систему фокусування (періодичну магнітну, наприклад), що дозволяє значною мірою зменшити їх масу та розміри. Корпус пакетованих ламп представляє собою систему фокусування і система уповільнення та гармата з іншими елементами ЛБХ не знаходяться в скляній лампі [8].

Системи фокусування, в яких використовується соленоїд мають, ряд істотних недоліків:

- значна маса і габарити;
- необхідність допоміжного джерела живлення соленоїда;
- нагрів ЛБХ, із-за потужності, яка розсіюється на соленоїді.

В підсилювальних лампах біжучої хвилі середньої та малої потужності широке застосування знаходить періодичне магнітне фокусування. На відміну від систем фокусування з постійним магнітним полем в системах періодичного магнітного фокусування напруженість магнітного поля вздовж осі ЛБХ не залишається постійним, а змінюється по синусоїдальному закону. Так поле створюється системою, яка складається з магнітних кілець, що розділені магнітними шайбами з високою магнітною проникністю (рис. 1.7). В такій системі магнітні поля, які створюються сусідніми магнітними кільцями, направлені навпроти один одного (рис. 1.8).

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

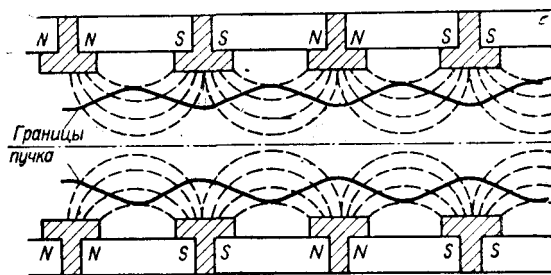


Рисунок 1.7 – Періодична магнітна система фокусування

Принцип фокусування електронного потоку періодичним магнітним полем може бути пояснений наступним чином. При русі електронів (на рис.1.8 умовно показані кружками) з деякою швидкістю під серединою шайби, де радіальна складова магнітного поля, максимальна, виникає сила, направлена перпендикулярно площині рисунку. Під дією цієї сили електрони набувають обертового моменту навколо осі системи фокусування. При русі електрона, що обертається навколо вісі руху, в проміжку між шайбами, де максимальна поздовжня складова магнітного поля, виникає сила, яка буде відхиляти електрон до вісі. При правильно вибраних параметрах системи фокусування (геометричні розміри, напруженість магнітного поля кілець) для електронного потоку, що рухається з визначеною швидкістю, фокусувальна дія поздовжньої складової буде компенсувати дію кулонівських сил розштовхування, в результаті чого електронний потік буде сфокусованим.

Конструктивно ЛБХ з періодичною магнітним фокусуванням випускаються у вигляді пакетної конструкції.

ЛБХ з періодичним магнітним фокусуванням має ряд переваг в порівнянні з системами які використовують електромагнітне фокусування:

- менша маса та габарити;
- більший коефіцієнт корисної дії;
- можливість застосування пакетованої конструкції, що значно спрощує її експлуатацію.

До недоліків ЛБХ з системою фокусування періодичним магнітним полем треба віднести залежність їх параметрів від температури, що пояснюється впливом температури на властивості магнітних кілець.

Для ефективної взаємодії електронного потоку з полем біжучої хвилі необхідно, щоб електронний потік рухався тільки уздовж вісі системи уповільнення. Це забезпечується використанням в арматурі ЛБХ пристрою центрування (юстування). Найпростішим пристроєм для центрування може служити система, яка складається з кільця з радіально розташованими гвинтами, за допомогою яких кріпиться ЛБХ (див. рис.1.3). Розташування осі лампи (системи уповільнення) відносно вісі системи фокусування регулюється гвинтами центруючого пристрою. Регулюючи глибину занурення гвинтів, можна знайти положення, при якому вісь системи уповільнення буде співпадати з віссю електронного потоку.

Прикладом іншого конструктивного виконання пристрою центрування може служити система, яка складається з двох пар ексцентрикових втулок. Повертаючи втулки ми можемо змінювати положення вісі лампи.

Звичайно, є і інші системи фокусування електронного потоку, але вони не так розповсюджені як системи фокусування періодичним магнітним полем та електромагнітне фокусування. До таких систем можна віднести:

- фокусування за допомогою електростатичного поля (такі ЛБХ називають спіратрони);
- використання в системі уповільнення двох спіралей, що еквівалентно розташуванню послідовно декількох електронних лінз та ін.

ЛБХ підключаються до зовнішнього високочастотного тракту за допомогою вхідного і вихідного пристроїв. На вхідний пристрій ЛБХ подається високочастотний сигнал, який потрібно підсилити, а за допомогою вихідного пристрою підсилений сигнал подається в зовнішній високочастотний тракт.

Як відомо, для передачі високочастотної енергії в діапазоні НЧ використовуються як хвилеводи так і коаксіальні лінії. Як правило на частотах вище 3000 – 5000 МГц знаходять використання хвилеводи, а на частотах менше

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3000 МГц частіше використовують коаксіальні лінії. Тому вихідний та вхідний пристрій виконуються у вигляді відрізків хвильоводів або коаксіальних ліній. Вхідний і вихідний пристрій мають стандартні фланці або високочастотні розніми для стикування з високочастотним трактом станції.

Для передачі високочастотного сигналу із вхідного пристрою ЛБХ на вхід системи уповільнення и підсилення сигналу з кінця системи уповільнення в вихідний пристрій ЛБХ з мінімальними втратами служать елементи настройки.

Часто в якості таких елементів використовуються відрізки хвильоводів з поршнями.

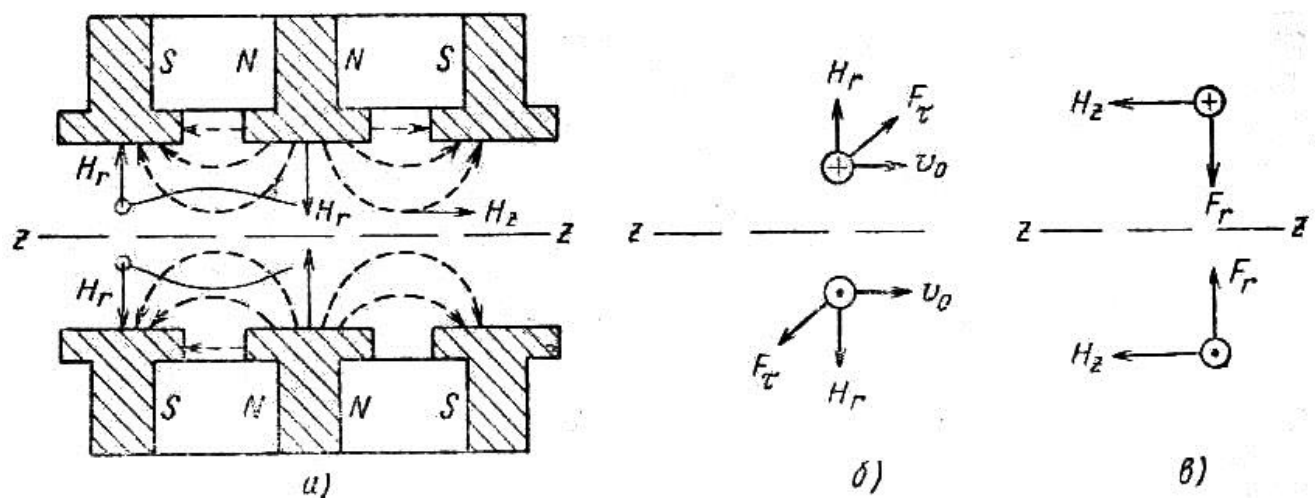


Рисунок 1.8 – Взаємодія електрона з періодичним магнітним полем. а – розподіл складових магнітного поля; б – взаємодія електрона з радіальними складовими магнітного поля; в – взаємодія електрона, що обертається, з поздовжньою складовою магнітного поля.

### 1.3 Висновки до розділу

Для отримання мінімального коефіцієнту шуму необхідно щоб потік електронів мав мінімальні розходження по густині та по швидкості. Основним джерелом шуму в ЛБХ являються шуми, зв'язані з хаотичним характером емісії електронів з катоду. Використанням спеціального виду гармати, яка дозволяє

шляхом підбору напруг на електродах отримати потрібний закон зростання електричного поля вздовж гармати, вдається мінімізувати шуми ЛБХ.

Найдоцільніше у ЛБХ, працюючих в діапазоні 500 – 15000 МГц, використовувати систему уповільнення електромагнітної хвилі у вигляді спіральної коаксіальної лінії з внутрішньою трубкою арматури та спіраллю, виготовленою з металічного проводу. Така конструкція дає змогу зберегти ефективну взаємодію електронного потоку з НВЧ полем в широкому діапазоні частот.

Система фокусування електронного потоку доцільніше виготовляти у вигляді соленоїда, це підвищує стійкість ЛБХ до теплових та механічних перенавантажень.

Балон ЛБХ доцільніше виробляти з кераміки, що підвищує експлуатаційні характеристики ЛБХ: стійкість до механічних та температурних впливів.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ТА ХАРАКТЕРИСТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛБХ

### 2.1 Основні параметри та характеристики ЛБХ

Основними параметрами ЛБХ є:

- коефіцієнт підсилення;
- діапазон робочих частот;
- коефіцієнт шуму;
- максимальна вихідна потужність.

#### 2.1.1 Коефіцієнт підсилення

Під коефіцієнтом підсилення ЛБХ розуміється число, яке показує, в скільки разів вихідна потужність лампи більше тої, яка подається на вхід [2]. Для зручності розрахунків і вимірювань коефіцієнт підсилення виражають не в «разах», а в децибелах, тобто:

$$K_y = 10 \lg \frac{P_{\text{вих}}}{P_{\text{вх}}},$$

де  $K_y$  – коефіцієнт підсилення, дБ;

$P_{\text{вих}}$  – вихідна потужність ЛБХ, Вт;

$P_{\text{вх}}$  – вхідна потужність, Вт.

Різні типи ЛБХ мають значення коефіцієнтів підсилення в межах 15-60 дБ, тобто вихідна потужність лампи більше вхідної в тридцять – мільйон разів.

Коефіцієнт підсилення не являється постійною величиною як для серій ЛБХ одного типу, так і для кожного екземпляру цього типу. Він залежить від величини вхідної потужності, частоти сигналу, електричного режиму та деяких інших факторів.

Характер залежності вихідної потужності від потужності вхідного сигналу (амплітудна характеристика) і залежність коефіцієнту підсилення від вхідної потужності наведені на рис.2.1.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На амплітудній характеристиці ЛБХ виділяють звичайно декілька ділянок, відповідно різним режимам роботи.

Початкова ділянка характеристики, на якій приріст вихідної потужності є пропорційним приросту вхідної потужності, відповідає так званому лінійному режиму роботи.

При подальшому збільшенні вхідної потужності режим роботи лампи стає нелінійним. Цей режим характерний тим, що вихідна потужність збільшується повільніше ніж вхідна. В цьому випадку частина електронів згустків попадає в фазу прискорення високочастотного поля, що призводить до зменшення коефіцієнту підсилення.

У відповідності до цього коефіцієнт підсилення на цій ділянці зменшується і при цьому тим сильніше, чим більше вхідна потужність. Характерною точкою амплітудної характеристики являється точка, відповідна максимальній вихідній потужності. Режим роботи при максимальній вихідній потужності називається режимом насичення.

Коефіцієнт підсилення в режимі насичення завжди менше ніж в лінійному режимі. Звичайно це зменшення тим більше, чим більше підсилення в лінійному режимі.

Вид амплітудної характеристики в області насичення залежить від конструкції лампи, і в спеціальних конструкціях ЛБХ – обмежувачів ця ділянка може бути зроблена майже плоскою в широкому інтервалі зміни вхідної потужності.

При подальшому збільшенні вхідної потужності за точкою насичення вихідна потужність, зменшуючись, досягне деякого мінімуму, а потім знову буде зростати.

Коефіцієнт підсилення при цьому безперервно падає і досягає нуля децибел; потім лампа починає послаблювати вхідний сигнал і в районі мінімуму вихідної потужності це послаблення досягає 30 – 60 дБ, залишаючись незмінною при збільшенні вхідних імпульсних потужностей до сотень і тисяч ват.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Збільшення вихідної потужності на ділянці за точкою 4 пояснюється прямим проходженням вхідного сигналу на вихід ЛБХ. Затухання сигналу при цьому визначається втратами на спіралі і в зосередженому поглиначі і звичайно складає 30 – 60 дБ.

Середнє значення вхідної потужності, як правило для вхідних (малощумлячих) ЛБХ, складає 0,5 – 3 Вт (в залежності від конструкції спіралі). Режим роботи ЛБХ за точкою 3 (рис. 2.1) можна назвати режимом придушення [3].

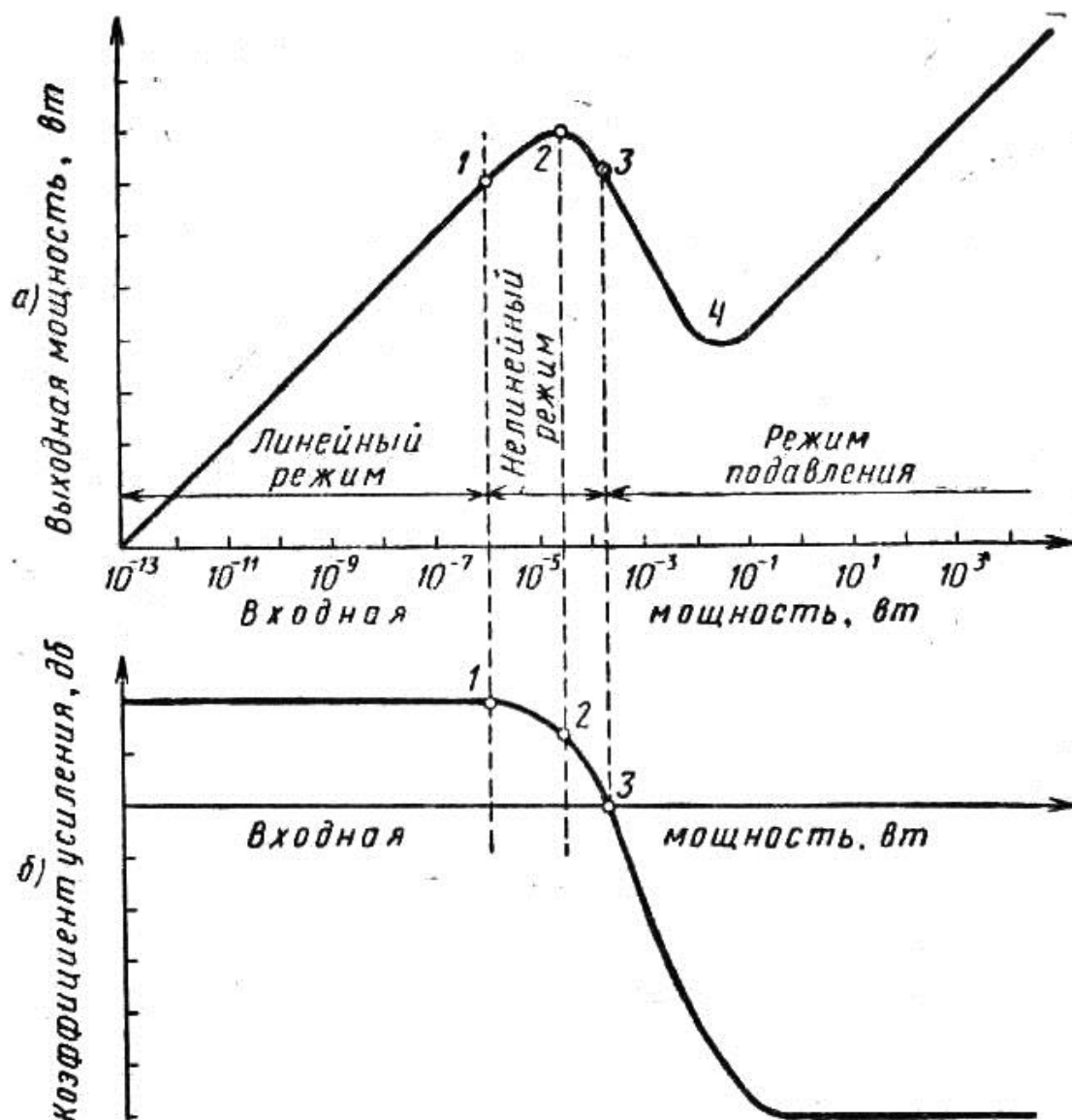


Рисунок 2.1 – Залежність вихідної потужності і коефіцієнта підсилення від вхідної потужності для малощумлячих ЛБХ. а – амплітудна характеристика; б –

залежність коефіцієнта підсилення від величини вхідної потужності. 1 – початок нелінійного режиму; 2 – точка насичення; 3 – початок режиму придушення.

Приведена на рис.2.1 крива дещо ідеалізована. У реальних ЛБХ спостерігається невелика «хвилястість» амплітудної характеристики в області нелінійного режиму, зв'язана з особливостями взаємодії електронного потоку з полем біжучої хвилі при великих сигналах.

Залежність коефіцієнту підсилення ЛБХ від частоти вхідного сигналу має складний характер, який визначається частотними властивостями системи уповільнення, конструкцією перехідних пристроїв узгодження, якістю узгодження зосередженого поглинача, коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі (КСХН) джерела сигналу та навантаження, електричним режимом роботи ЛБХ та деякими іншими менш важливими причинами.

Частотні властивості системи уповільнення, конструкція пристроїв узгодження та напруга системи уповільнення визначають загальний характер залежності підсилення від частоти, а КСХН джерела струму, пристроїв узгодження, зосередженого поглинача та навантаження визначають «хвилястість» характеристики (рис. 2.2).

Щоб характеризувати зміну підсилення ЛБХ в робочому діапазоні частот, використовують поняття «нерівномірність підсилення», що показує на скільки максимальне підсилення відрізняється від мінімального в заданому діапазоні частот. У сучасних широкополосних ЛБХ, маючих смугу в одну октаву (тобто відношення максимальної до мінімальної частоти дорівнює два), повна нерівномірність підсилення досягає 6 – 8 дБ. «Хвилястість» характеристики має меншу величину і звичайно не перевищує 1 – 3 дБ. Ці невеликі зміни підсилення у малошумлячих ЛБХ з низькими напругами живлення (менше 1000 В) мають приблизно періодичний характер з періодом 40 – 60 МГц.

### 2.1.2 Діапазон робочих частот

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під робочим діапазоном частот ЛБХ розуміють діапазон, в якому лампа забезпечує підсилення не менш тієї величини, що гарантується заводом-виробником. Ця величина не однакова для різних для різних типів ЛБХ, а коливається від 15 до 60 дБ. При цьому в межах заданого діапазону частот підсилення може бути максимальним або в центрі смуги підсилення, або на її краях. Шляхом зміни напруги на спіралі можна в деяких межах регулювати характер розподілу підсилення по діапазону [3-5].

Завдяки використанню нерезонансних систем уповільнення і широкополосних пристроїв узгодження, існуючі типи ЛБХ забезпечують підсилення не менш 20 дБ в смузі частот від  $\pm 5$  до  $\pm 50\%$  середньої частоти.

### 2.1.3 Коефіцієнт шуму

Відомо, що для гарної індикації вхідного сигналу необхідно, щоб корисний сигнал на виході приймального пристрою перевищував рівень власних шумів приймача на деяку величину, яка залежить від виду апаратури.

Однією з перевагою ЛБХ, як було сказано, являється можливість отримання малого коефіцієнта шуму підсилювача, тобто забезпечення високої чутливості приймачів.

Під коефіцієнтом шуму розуміють число, що показує в скільки разів приведена до входу потужність шуму досліджуваного підсилювача у вибраній смузі частот більше потужності шуму (в тій же смузі частот) включеного на його вхід узгодженого опору, що має температуру 290 градусів Кельвіна.

Іншими словами, коефіцієнт шуму це число, що показує в скільки разів даний реальний підсилювач гірше ідеального, що має таку ж смугу підсилення як і реальний підсилювач, але не вносить в сигнал додатковий шум.

Коефіцієнт шуму виражають в разях (одиницях) або децибелах. Якщо коефіцієнт шуму менше 2 – 3 одиниць, то шумові властивості підсилювача краще виражати еквівалентною шумовою температурою. Еквівалентною шумовою температурою називається температура (в градусах Кельвіна), до якої повинен

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бути нагрітий узгоджений опір на вході ідеального підсилювача, щоб на виході потужність шуму була такою ж, як і в реально досліджуваного підсилювача з узгодженим опором, що має температуру 0 градусів Кельвіна (при рівних коефіцієнтах підсилення та смугах пропускання).

Коефіцієнт шуму та еквівалентна шумова температура пов'язані співвідношенням:

$$N_{od} = 1 + \frac{T_e}{290},$$

де  $N_{od}$  – коефіцієнт шуму;  $T_e$  – еквівалентна шумова температура.

Теоретично, величини коефіцієнту шуму та еквівалентної шумової температури не залежать від вибраної смуги частот. Важливо лише, щоб при вимірюванні смуги частот, в яких відбувається вимірювання шумової потужності узгодженого опору і досліджуваного підсилювача, були б однакові. Але на практиці коефіцієнт шуму в смузі частот у ЛБХ не залишається постійним: він мінімальний в межах смуги робочих частот і збільшується за її межами. Тому при вимірюваннях смугу частот вибирають рівною 2 – 10 МГц, в межах якої коефіцієнт шуму залишається постійним.

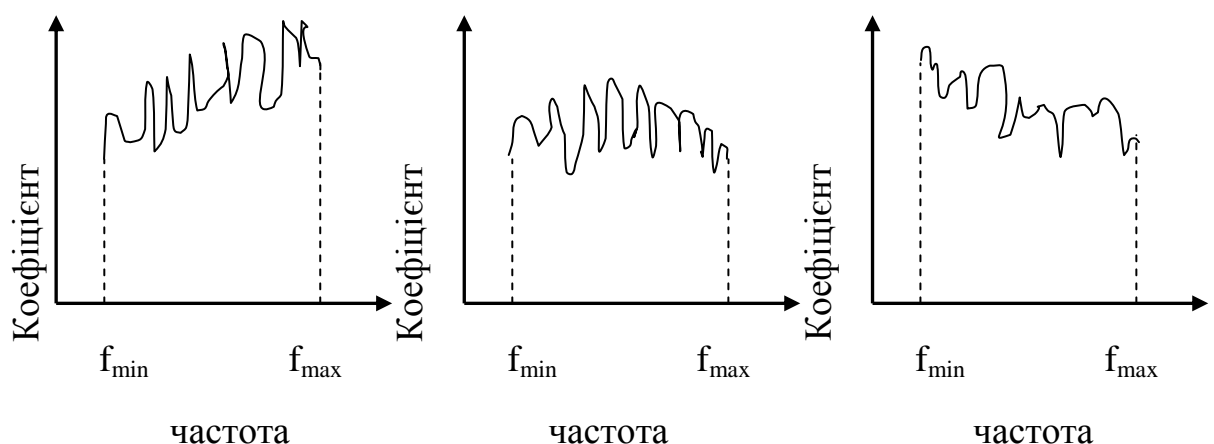


Рисунок 2.2 – Можливі амплітудно-частотні характеристики ЛБХ

На практиці інколи шумові властивості підсилювача на ЛБХ визначають граничною чутливістю.

Під граничною чутливістю розуміють величина потужності, за якої забезпечується перевищення рівня сигналу над рівнем власних шумів в два рази. Так як цей критерій визначається не тільки шумовими властивостями самого підсилювача, але і шириною його смуги, то не можна тільки за граничною чутливістю порівнювати два підсилювача з різними смугами.

Гранична чутливість виражається або в ватах, або в децибелах відносно вата (дБВт) або мілівата (лБмВт).

Гранична чутливість в дБВт і в дБмВт визначається за наступними формулами:

$$P_{дБм} = 10 \cdot \lg \frac{1}{P_{пр}}$$

$$P_{дБм} = 10 \cdot \lg \frac{1}{1000 \cdot P_{пр}},$$

де  $P_{пр}$  – потужність вхідного сигналу у ватах при перевищенні сигналу над шумами в два рази.

З цього стає зрозумілим, що використовувати граничну чутливість для однозначної оцінки шумових властивостей ЛБХ, які використовуються в приймачах зі смугою від сотень кілогерц до тисяч мегагерц не можна.

При відомих чутливості та ширини смуги приймача коефіцієнт шуму можна порахувати за формулою:

$$N_{од} = \frac{P_{пр}}{4 \cdot 10^{-21} \cdot \Delta f},$$

де  $P_{пр}$  – чутливість, Вт,  $\Delta f$  – ширина смуги, Гц,  $N_{од}$  – коефіцієнт шуму, відн. од.

В існуючих типах ЛБХ коефіцієнт шуму знаходиться в межах 2,5 – 1000 одиниць.

При цьому вхідні (малешумлячі) ЛБХ мають коефіцієнт шуму в межах 2,5 – 20 од., а більш потужні лампи (проміжні і вихідні) – в межах 20 – 1000 од.

Для отримання мінімального коефіцієнту шуму необхідно добиватись якісного узгодження входу ЛБХ з джерелом сигналу, так як будь-яка неоднорідність, яка відбиває вхідний сигнал, призводить до збільшення коефіцієнту шуму.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт шуму являється важливим параметром для вхідних і проміжних ЛБХ, які використовуються у вхідних та проміжних каскадах широкополосних приймачів прямого підсилення та супергетеродинних приймачів НВЧ діапазону.

#### 2.1.4 Вихідна потужність

В лампах малої, середньої та великої потужності одним з основних параметрів являється максимальна вихідна потужність [1-3].

Під вихідною потужністю ЛБХ, призначеної для роботи в режимі живлення електродів постійним струмом, розуміють потужність, яка виділяється на узгодженому навантаженні при неперервному підсилювальному сигналі. Вихідна потужність в довідкових даних вказується для режиму насичення, якщо не оговорена максимальна вихідна потужність в лінійному режимі.

В протилежність багатьом іншим електронним лампам в разі використання такої ЛБХ в імпульсному режимі живлення неможна значно збільшувати вихідну потужність за рахунок збільшення струму променя в імпульсі, так як це призведе до порушення умов фокусування променя і швидкому виходу ЛБХ із строю.

Вихідна імпульсна потужність не повинна перевищувати вихідну потужність неперервного режиму, якщо імпульсний режим не передбачений в даному типі ЛБХ.

Вихідна потужність вхідних ЛБХ в режимі насичення має порядок 1 – 10 мВт, проміжних 10 – 1000 мВт, малої потужності – 1 – 10 Вт, середньої потужності – 20 – 100 Вт та потужних більш ніж 100 Вт. Треба мати на увагу те, що максимальна вихідна потужність ЛБХ в межах робочого діапазону частот може значно змінюватись (в 2 – 3 рази).

Менш важливими в порівнянні з розглянутими НВЧ параметрами, являються величини напруг живлення і число електродів електронної гармати. Найбільш низькі напруги живлення і велику кількість електродів електронної гармати мають малопотужні (вхідні) ЛБХ.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Навпаки, у потужних ЛБХ число електродів невелике і напруги живлення високі. При цьому в рамках одного класу ЛБХ, наприклад, вхідні ЛБХ, більш низькочастотним типам ЛБХ відповідають більш низькі робочі напруги і навпаки.

В таблиці 2.1 можна побачити межі можливої зміни основних параметрів і електричних властивостей ЛБХ різних видів.

#### 2.1.5 Залежність основних параметрів від електричного режиму

На відміну від параметрів багатьох електровакуумних пристроїв інших класів параметри ЛБХ в більшій степені залежать від електричного режиму. Тому кожна ЛБХ має індивідуальний паспорт, відповідно до якого встановлюється напруга на кожному з електродів. Відхилення значень напруг від номінальних може призвести до погіршення основних параметрів ЛБХ або до порушення пристрою. Розглянемо залежність основних параметрів від електричного режиму [4].

Коефіцієнт підсилення ЛБХ крім конструкції системи уповільнення визначається величиною струму променя і напругою на системі уповільнення. При цьому зміна коефіцієнту підсилення (що виражається в дБ) пропорційна кубічному кореню з струму променя, тобто якщо ми збільшимо струм променя в три рази за рахунок збільшення напруги на електродах гармати, то підсилення зміниться в 1,44 рази і стане, наприклад, з 20 дБ – 28,8 дБ. Якщо б попереднє підсилення мало величину 40 дБ, то зміна складала не 8,8 дБ, а 17,6 дБ (57,5 разів). Із приведенного вище прикладу видно, що лампи з великим коефіцієнтом підсилення потребують більш точної установки і підтримання напруги на електродах гармати (фокусуючий електрод і перший анод) для заданого коефіцієнта підсилення.

Напруга на спіралі майже не впливає на величину струму, що відбирається з катоду, але визначає швидкість руху електронів в області системи уповільнення, а відповідно, і підсилення. Існує тільки одне значення напруги на спіралі, при якому підсилення максимальне. Зміна цієї напруги на 3 – 5% від оптимального в ту чи іншу сторону призведе до зменшення коефіцієнту підсилення в

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

малошумлячих ЛБХ на 3 – 7 дБ, а при зміні на 10% коефіцієнт підсилення стане рівним нулю (рис. 2.3). У більш потужних ЛБХ дана залежність в 2 – 3 рази слабше, але все таки залежність коефіцієнту підсилення від напруги на системі уповільнення набагато сильніша у порівнянні з залежністю від напруг на інших електродах.

Таблиця 2.1 Параметри ЛБХ

Вид ЛБХ	$f_{\text{макс}}/f_{\text{мін}}$	N, од	$K_y$ , дБ	$P_{\text{вих}}$ , Вт	$U_{\text{пит}}$ , В	$I_d$ , мА
Малошумлячі	1,1 – 2	2,5–20	15–35	$10^{-3}$ – $10^{-2}$	250 – 1200	0,2 – 1,5
Проміжні	1,1 – 4	20–1000	25–60	$10^{-2}$ – 1	600 – 2000	1 – 15
Малої потужності	1,5 – 2	100–1000	20–60	1,0 – 20	$10^3$ – $4 \times 10^3$	25 – 70
Середньої потужності	1,5 – 2		20–35	20 – $10^2$	$1,5 \times 10^3$ – $4 \times 10^3$	50 – 100
Великої потужності	1,5 – 2		13–30	$\geq 10^2$	$2 \times 10^3$ – $2 \times 10^4$	200 – 2500

Напруга, при якій коефіцієнт підсилення є максимальним називається напругою оптимальної взаємодії або просто оптимальною напругою.

Оптимальна напруга в деякій мірі залежить від робочої частоти та величини вхідної потужності. При цьому більш низькій частоті відповідає більша оптимальна напруга і більшій вхідній потужності теж відповідає більша оптимальна напруга.

Тому, якщо ЛБХ використовують в апаратурі з широким діапазоном частот, то оптимальна напруга на спіралі повинна підбиратись таким чином, щоб підсилення по діапазону було максимально рівномірним.

Залежність оптимальної напруги від вхідної потужності проявляється тільки при роботі ЛБХ в нелінійному режимі. Тобто, якщо ЛБХ використовується у вказаному режимі, то оптимальну напругу потрібно підбирати при подачі на вхід ЛБХ вхідного робочого сигналу визначеної величини [5].

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



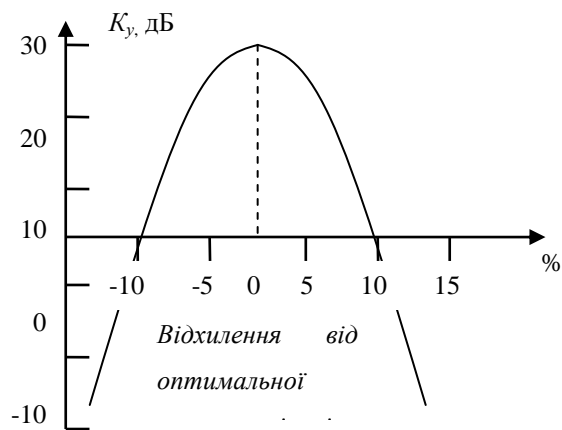


Рисунок 2.3 – Приблизна залежність коефіцієнту підсилення від відхилення напруги на спіралі від оптимального значення

Іншим параметром, величина якого сильно залежить від напруги електродів, являється коефіцієнт шумів ЛБХ. Для отримання мінімального коефіцієнту шуму потрібно забезпечити особливу форму електричного і магнітного полів біля катоду і в області між катодом і входом в систему уповільнення, визначену температуру катоду і швидкість електронів в просторі взаємодії (всередині спіралі). Так як при виготовленні ЛБХ неможливо забезпечити повної ідентичності конструкції катодів, електронних гармат і спіралей, то для отримання мінімального коефіцієнта шуму на заводах експериментально підбирають режим, який забезпечує мінімальний коефіцієнт шуму. Даний режим вказується в паспорті ЛБХ.

Примірний вигляд залежності коефіцієнту шуму від напруг різних електродів показаний на рис.2.4. Найбільш сильно коефіцієнт шуму залежить від напруги на спіралі.

Значення напруг на спіралі, які відповідають максимальному підсиленню і мінімальному коефіцієнту шуму, майже співпадають. Оскільки коефіцієнт підсилення легше контролювати, ніж коефіцієнт шуму, то в апаратурі обмежуються підбором напруги спіралі, яка відповідає максимальному підсиленню. Якщо апаратура має вбудований контроль коефіцієнта шуму

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймача, то більш правильно оптимальну напругу спіралі ЛБХ встановити за мінімальним коефіцієнтом шуму.

Всі електроди малопотужних ЛБХ живляться частіше всього від одного джерела за допомогою подільника напруги. В цьому разі нестабільність напруги призводить одночасно до зміни напруги на всіх електродах, що підсилює залежність коефіцієнта підсилення та коефіцієнта шуму від напруг живлення (Рис. 2.4,г).

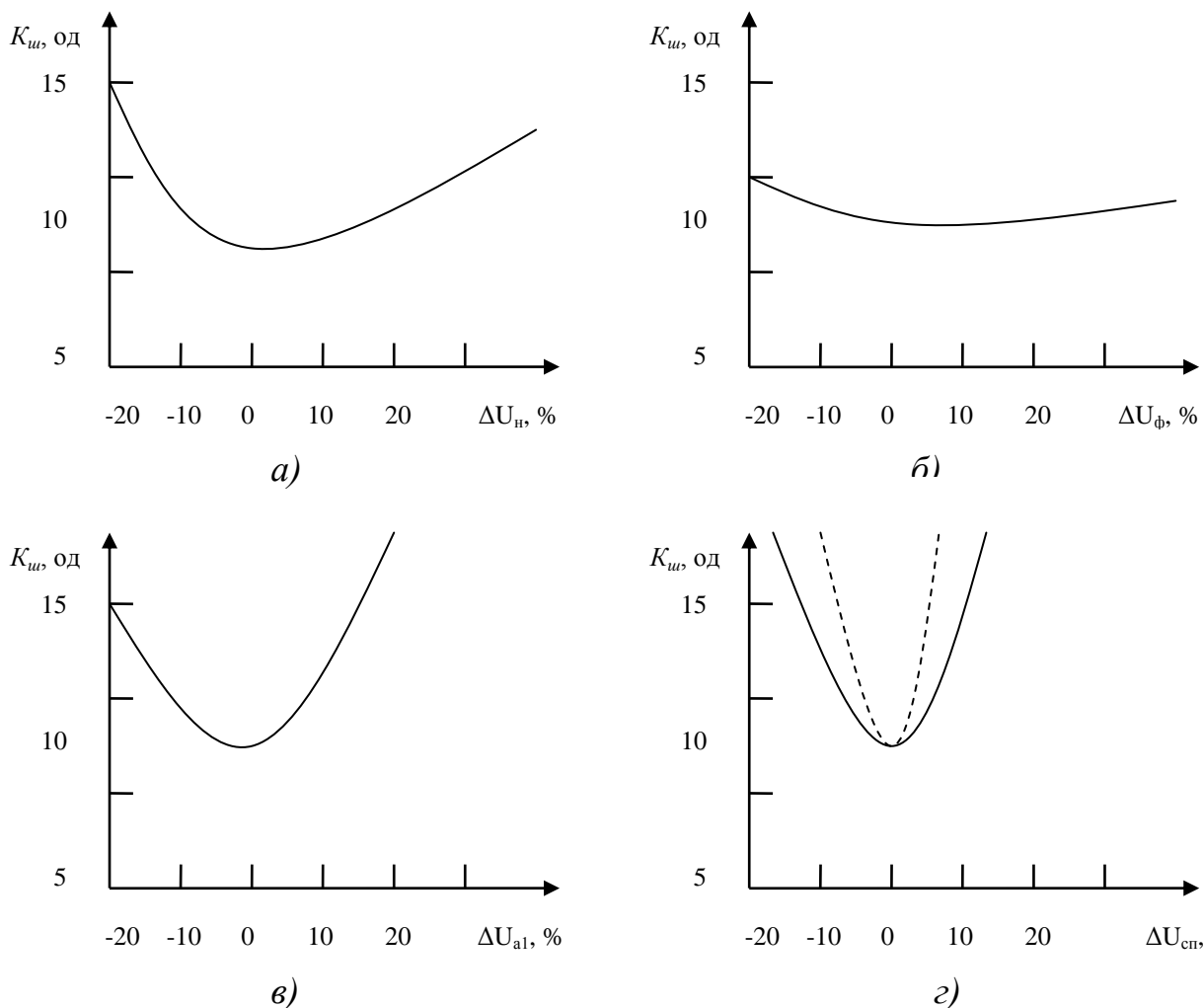


Рисунок 2.4 – Характер залежності коефіцієнту шуму малопотужної ЛБХ від напруг живлення: а – від напруги нагрівання; б – від напруги управляючого електроду; в – від напруги першого аноду; г – від напруги спіралі. Пунктиром показана залежність коефіцієнта шуму при одночасній зміні всіх живлячих напруг

Якщо за умовами використання необхідно щоб ЛБХ забезпечувала максимальне ККД, то необхідно використовувати її в режимі насичення. Так як

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідна потужність вибраного типу ЛБХ може перевищувати потужність, яка потрібна для апаратури, її можна знизити за рахунок струму променя. Можливість установки декількох режимів забезпечується для деяких типів ЛБХ і це оговорюється в технічних умовах. Максимальна вихідна потужність при цьому в двох крайніх режимах може відрізнятись в 2 – 4 рази.

Раніше було обговорено вплив невеликих відхилень електричного режиму в НВЧ параметрах ЛБХ. Такі відхилення в режимі не впливають на вік служби ЛБХ і не призводять до виведення її з ладу.

Установка оптимального режиму веде до відновлення коефіцієнта підсилення, коефіцієнту шуму та інших параметрів ЛБХ [7].

Але при експлуатації ЛБХ можуть мати місце порушення таких режимів роботи і правил експлуатації, які можуть значно зменшити час служби ЛБХ.

Причиною цьому може бути неправильне встановлення напруг електродів, неправильне юстування ЛБХ в магнітному полі, вмикання ЛБХ без фокусування чого магнітного поля, подача вхідного сигналу при відключеному навантаженні (у ЛБХ з  $P_{\text{вих}} \geq 5$  Вт), робота ЛБХ при виключеній системі охолодження та ін.

На рис.2.5 приведені приклади залежності струмів колектору і спіралі від напруг на електродах для ЛБХ з соленоїдом та пакетованою ЛБХ, яка має періодичну систему фокусування. Як видно на рис.2.5,а,б, при збільшенні струму катоду ЛБХ за рахунок зміни напруги фокусу вального електроду або першого аноду у пакетованих ЛБХ спостерігається різке підсилення струму спіралі. При цьому теплова потужність, яка виділяється зі спіралі, сягає таких величин, що спіраль нагрівається і відбувається виділення газів зі спіралі і елементів, які підтримують спіраль (скла, кварцу, кераміки). Так як спіраль виготовляється з дроту товщиною 0,1 – 0,2 мм, то теплова потужність, яку може розсіяти спіраль, відносно невелика і сягає 1 – 5 Вт для ламп з потужністю променя 10 – 20 Вт.

Треба відмітити, що збільшення струму спіралі при зміні напруги на електродах гармати може спостерігатись не тільки в пакетованій ЛБХ, але і у лампи з соленоїдом, якщо в них використовувати збіжний пучок електронів (в основному це лампи з вихідною потужністю більше 3 – 5 Вт).

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значне збільшення струму спіралі у пакетованих ЛБХ відбувається при зменшенні напруги на спіралі на 10 – 30 % від паспортного значення (Рис. 2.5,в). При цьому весь струм колектора буде попадати на спіраль, що призведе до повного виходу ЛБХ із ладу протягом декількох секунд.

До подібних результатів призводить використання ЛБХ при неправильній установці лампи в магнітному полі соленоїда або її вмиканні без подачі живлення на соленоїд.

Для забезпечення нормальної роботи ЛБХ потрібно слідкувати, щоб струм спіралі не перевищував норм, встановлених для даного типу ЛБХ.

Збільшення струму спіралі особливо часто має місце в момент ввімкнення та вимкнення ЛБХ із-за перехідних процесів в блоці живлення. Для того щоб і ці моменти спіраль не встигала нагрітись і не відбувалось виділення газів, перехідні процеси в блоках живлення не повинні проходити більше 10 – 50 мс.

Іншою причиною погіршення параметрів може являтися вмикання ЛБХ без високочастотного навантаження. В цьому разі вихідна потужність відбивається від виходу ЛБХ і більша її частина виділяється на зосередженому поглиначі або в пучностях стоячої хвилі напруги, визиваючи розігрів поглинача або невеликої частини спіралі. Подібні явища найбільш небезпечні в ЛБХ з вихідною потужністю більше 10 – 20 Вт.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

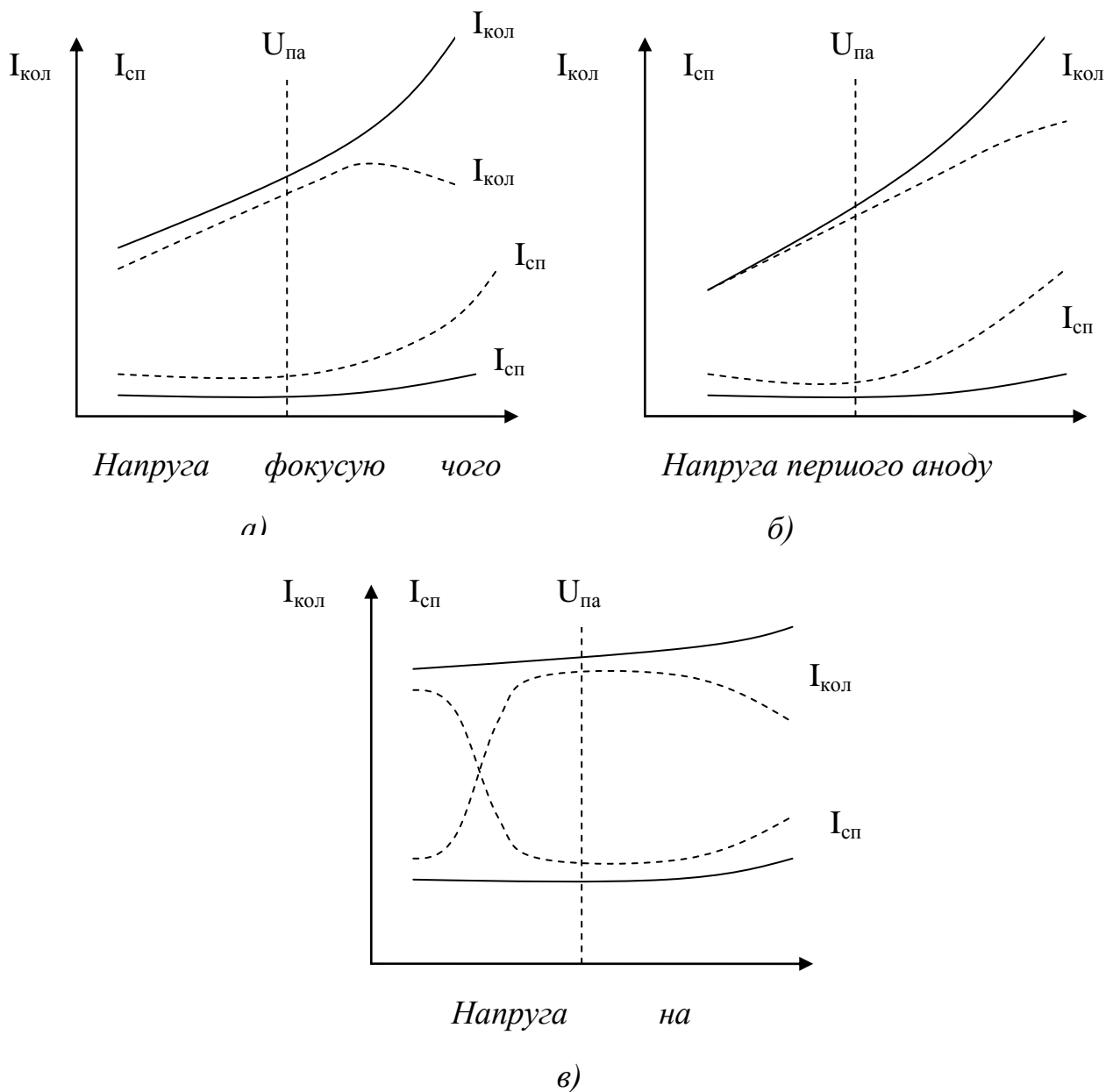


Рисунок 2.5 – Характер залежності струму колектора і струму спіралі для ЛБХ з фокусуванням постійним магнітним полем (суцільна лінія) і для ЛБХ, яка має періодичну магнітну систему фокусування (штрихова лінія): а – від напруги фокусуючого електрода; б – від напруги на першому аноді; в – від напруги на спіралі

## 2.2 Функції, що виконує ЛБХ в апаратурі

В сучасній радіоелектронній апаратурі ЛБХ знаходять саме широке використання. Одним із найбільш поширених являється використання

малошумлячих ЛБХ в якості вхідних підсилювачів високої частоти приймачів радіолокаційних станцій. До появи малошумлячих ЛБХ приймачі радіолокаційних станцій в якості першого каскаду мали перетворювач частоти на кристалічному діоді. При такій схемі побудови не представлялось можливим створювати приймачі з високою чутливістю, крім того, із-за вигорання кристалічного діоду під впливом потужності, що проходила через розрядник захисту з передатчику, вони часто виходили із ладу. Використання в радіолокаційних приймачах малошумлячих ЛБХ дозволило підвищити їх чутливість і надійно захистити кристалічний діод від вигорання. На рис.2.6 показана проста блок-схема радіолокаційної станції з підсилювачем високої частоти на ЛБХ.

ЛБХ також знаходять використання в підсилювачах прямого підсилення. Блок-схема такого підсилювача показана на рис.2.7.

Широке використання ЛБХ знаходять в ретрансляційних підсилювачах, де іони використовуються в якості вхідних підсилювачів і підсилювачів потужності.

Як вже відмічалось, ЛБХ характеризується системою електричних параметрів, але в залежності від використання можна виділити параметри, які являються визначними для даного типу ЛБХ.

В таблиці 2.6 приводяться приклади типового використання ЛБХ різних видів, їх визначні параметри і можливі способи фокусування електронних потоків.

Багато досліджень показали, що звичайна підсилювальна ЛБХ являється універсальним електронним пристроєм, який дозволяє використовувати його не тільки для рішення тих задач, для яких вона конструювалась.

Найпростішим прикладом нетипового використання ЛБХ, яка призначена для роботи в неперервному режимі, являється модуляція коефіцієнта підсилення подачею на окремі електроди лампи імпульсів необхідної форми і довжини. Модуляцію коефіцієнту підсилення в малошумлячих ЛБХ можливо втілювати шляхом зміни напруги на спіралі або на першому аноді. Перший спосіб кращий, так як при зміні напруги на спіралі струм з катоду залишається незмінним, що

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливо для забезпечення стабільності коефіцієнту шуму під час роботи пристрою. Такий спосіб дозволяє втілювати модуляцію з будь-якою скважністю. Другий спосіб для малошумлячих ламп не підходить.

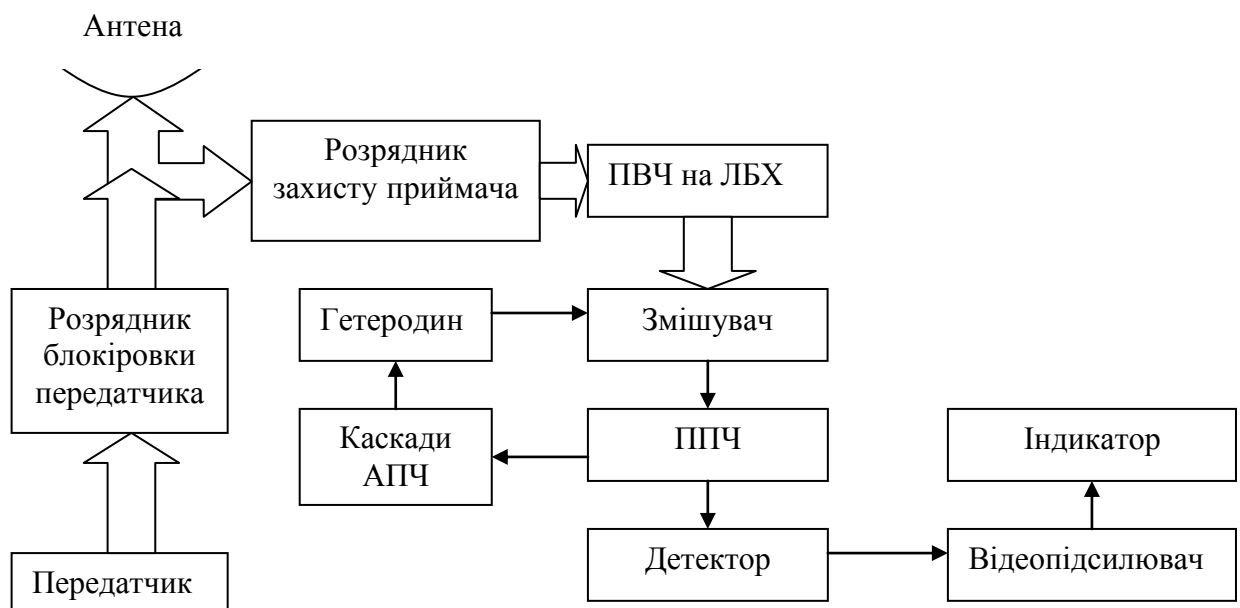


Рисунок 2.6 – Найпростіша блок-схема радіолокаційної станції з підсилювачем високої частоти на ЛБХ

Пакетовані лампи з періодичним магнітним фокусуванням модулювати зміною напругою спіралі в більшості випадків неможливе, так як при зменшенні напруги на спіралі на величину, необхідну для зменшення підсилення, струм спіралі може перевищувати допустимі норми. Такі лампи краще модулювати зміною напруги на фокусу вальному електроді або першого аноду.

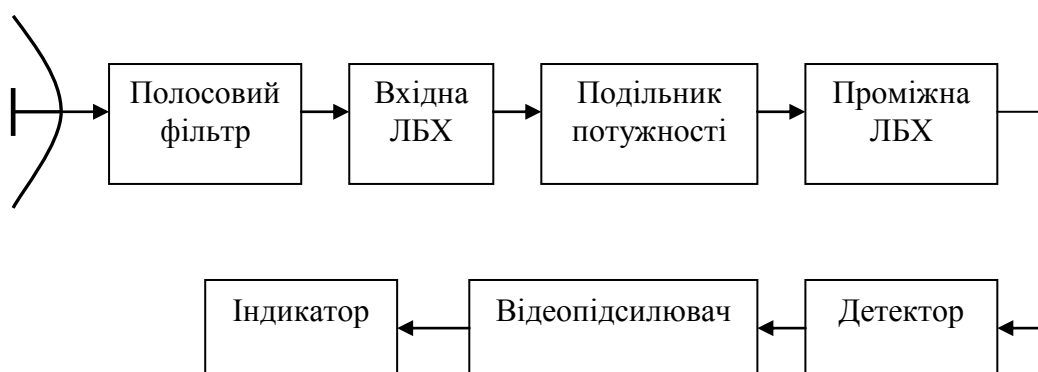


Рисунок 2.7 – Блок-схема приймача прямого підсилення

За допомогою ЛБХ можна отримати над короткі радіоімпульси, які використовуються в локаторах високої роздільної здатності. Такі локатори використовуються, наприклад, для дослідження довгих хвильових трактів на ретрансляційних пунктах радіорелейної лінії. Сутність методу заключається в тому, що на спіраль ЛБХ крім постійної напруги подається синусоїдальна напруга великої амплітуди. При цьому потужність ЛБХ буде спостерігатись тільки в той час, коли миттєве значення напруги спіралі буде близька чи рівна оптимальній. Вибираючи досить високу частоту модуляції (10 – 20 МГц) і велику амплітуду змінної напруги, можна формувати радіоімпульси з довжиною порядку  $10^{-9}$  с.

Іншим способом нетипового використання ЛБХ являється перетворення частоти періодичною лінійною модуляцією фази її вихідного сигналу. Для втілення даного типу модуляції необхідно на спіраль ЛБХ подавати модулюючу пилкоподібну напругу визначеної амплітуди і тієї частоти, на яку необхідно здвинути частоту вихідного сигналу. Таким чином можна зсувати частоту вихідного сигналу по відношенню до частоти вхідного сигналу на величину від частки герца до десятків мегагерц при несучій частоті в багато тисяч мегагерц.

Цей спосіб має гарну властивість, яка полягає в тому, що він забезпечує зсув частоти навіть в тому випадку, коли частота вхідного сигналу перестроюється в широкому діапазоні. Такі перетворювачі знаходять використання в деякій вимірювальній апаратурі.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 2.2

## Приклади типового використання ЛБХ і їх визначні електричні параметри

Вид ЛБХ	Область застосування	Визначні електричні параметри	Значення визначних параметрів	Фокусування
Малошумлячі	Вхідні підсилювачі НВЧ	Коефіцієнт шуму	4,5 – 13 дБ	Електромагнітна, постійні магніти, періодичне магнітне фокусування
Проміжні	Проміжні каскади підсилення багато каскадних підсилювачів НВЧ	Коефіцієнт підсилення	Більше 30 дБ	Періодичне магнітне фокусування
Малої потужності	Каскади підсилення ретрансляційних станцій	Вихідна потужність, коефіцієнт підсилення	1 – 2 Вт, більше 30 дБ	Періодичне магнітне фокусування, електромагнітне.
Середньої потужності	Підсилювачі потужності передаючих пристроїв	Вихідна потужність, ККД	20 – 100 Вт, Більше 20%	Періодичне магнітне фокусування, електромагнітне
Високої потужності	Закінчені підсилювачі потужності передаючих пристроїв	Вихідна потужність, ККД	Більше 100 Вт, Більше 20%	Електромагнітне, періодичне магнітне фокусування

Як всякий підсилювач, ЛБХ може використовуватись в якості генератора, для цього досить подати зворотній зв'язок з виходу ЛБХ на її вхід. В силу широкої смуги ЛБХ, а також того, що в самій лампі і в колі зворотного зв'язку вкладається багато десятків довжин хвиль, такий генератор генерує відразу цілу сітку частот. Для забезпечення генерації лише на одній частоті досить ввести в коло зворотного зв'язку фільтр для потрібної частоти. Описаний генератор дозволяє здійснювати електронну підбір частоти в межах 10 – 50 МГц за рахунок зміни напруги на спіралі.

ЛБХ в режимі генерації дозволяє одночасно використовувати її і якості підсилювача сигналу, що інколи дозволяє проектувати вхідні каскади приймачів без окремого гетеродину на відбивному клістріоні.

При роботі ЛБХ в нелінійному режимі, особливо потужних ламп, у вихідному сигналі з'являються вищі гармонічні складові, які можуть бути виділені за допомогою фільтрів. Інший спосіб множення такий, що сигнал, який множить, подається на управляючий електрод ЛБХ і модулює електронний потік, розподіляючи в області спіралі згустки електронів. При русі цих згустків в спіралі в останній наводиться напруга, яка багата на гармоніки. За допомогою ЛБХ можливо отримати множення частоти в десятки разів.

ЛБХ може використовуватися в якості детектора. Для цього необхідно понизити потенціал її колектора до нуля (відносно катода). При цьому струм колектора зменшується, так як частина електронів, які віддали свою кінетичну енергію високочастотному полю, не можуть пройти різницю потенціалів між спіраллю та колектором. Число електронів, які будуть попадати на колектор залежить від величини сигналу, тобто струм колектора залежить від вхідної потужності. Такий ЛБХ-детектор за своїми характеристиками рівноцінний системі ЛБХ-підсилювач плюс кристалічний детектор. Але він простіше, а відповідно й більш надійний, якщо брати до уваги, що кристалічний діод чутливий до великих потужностей.

Якщо на такий детектор подати два сигнали, один з яких являється сигналом гетеродину, то в колі колектора можна виділити проміжну частоту. Переваги такого змішувача в тому, що сигнал гетеродину підсилюється ЛБХ, і відповідно, потрібна мала потужність гетеродину. Це грає роль в тому випадку, коли потужність гетеродину одержується за рахунок множення частоти відносно низькочастотного стабільного генератора.

Останній приклад нетипового використання ЛБХ, що не потребує зміни режиму її роботи, закладається в тому, що одна і та ж ЛБХ підсилює сигнал два рази. При цьому способі сигнал, якій підлягає підсиленню і має частоту  $f_1$ , подається на вхід ЛБХ. На виході підсилений сигнал через фільтр подається на

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кристалічний змішувач, на виході якого виділяється частота  $f_1 + f_{\text{гет}}$  ( $f_{\text{гет}}$  – частота гетеродину). Сумарна частота через фільтр знову подається на вхід ЛБХ і підсилюється. В результаті на ЛБХ, яка має коефіцієнт підсилення 30 дБ, може бути отримано підсилення сигналу 45 – 50 дБ.

В наслідок того, що параметри ЛБХ в значному степені залежать від режиму застосування, лампи біжучої хвилі являються універсальними пристроями НВЧ діапазону.

## 2.3 Висновки до розділу

Основними параметрами ЛБХ є коефіцієнт підсилення, діапазон робочих частот, коефіцієнт шуму, максимальна вихідна потужність.

Коефіцієнт підсилення не являється постійною величиною як для серій ЛБХ одного типу, так і для кожного екземпляру цього типу. Він залежить від величини вхідної потужності, частоти сигналу, електричного режиму та інших факторів. У сучасних широкополосних ЛБХ, маючих смугу в одну октаву (тобто відношення максимальної до мінімальної частоти дорівнює два), повна нерівномірність підсилення досягає 6 – 8 дБ.

Завдяки використанню нерезонансних систем уповільнення і широкополосних пристроїв узгодження, існуючі типи ЛБХ забезпечують підсилення не менш 20 дБ в смузі частот від  $\pm 5$  до  $\pm 50\%$  середньої частоти.

Однією з перевагою ЛБХ, як було сказано, являється можливість отримання малого коефіцієнта шуму підсилювача, тобто забезпечення високої чутливості приймачів. На практиці інколи шумові властивості підсилювача на ЛБХ визначають граничною чутливістю. Під граничною чутливістю розуміють величина потужності, за якої забезпечується перевищення рівня сигналу над рівнем власних шумів в два рази.

Для отримання мінімального коефіцієнту шуму необхідно добиватись якісного узгодження входу ЛБХ з джерелом сигналу, так як будь-яка

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

неоднорідність, яка відбиває вхідний сигнал, призводить до збільшення коефіцієнту шуму.

В імпульсному режимі живлення ЛБХ неможна значно збільшувати вихідну потужність за рахунок збільшення струму променя в імпульсі, так як це призведе до порушення умов фокусування променя і швидкому виходу ЛБХ із строю.

Вихідна імпульсна потужність не повинна перевищувати вихідну потужність неперервного режиму, якщо імпульсний режим не передбачений в даному типі ЛБХ.

При експлуатації ЛБХ можуть мати місце порушення таких режимів роботи і правил експлуатації, які можуть значно зменшити час служби ЛБХ: неправильне встановлення напруг електродів, неправильне юстування ЛБХ в магнітному полі, вмикання ЛБХ без фокусуючого магнітного поля, подача вхідного сигналу при відключеному навантаженні (у ЛБХ з  $P_{\text{вих}} \geq 5$  Вт), робота ЛБХ при виключеній системі охолодження та ін.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ВИБІР ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА РОЗРАХУНОК ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЛБХ

#### 3.1 Вибір компонентів

В попередніх розділах було розглянуто структуру ЛБХ та її параметри. Звичайно, всі параметри ЛБХ залежать від електричних режимів та конструкції лампи та її арматури. Процес вибору компонентів лампи біжучої хвилі базується на параметрах, які наведені в завданні:

– система уповільнення: як було вже сказано в більшості випадків у ЛБХ використовується система уповільнення у вигляді спіралі. Всі переваги даної системи було оговорено вище.

– система фокусування: якщо порівняти параметри які дані в завданні до роботи та параметри які наведені в таблиці 2.2, то можна бачити, що даний тип ЛБХ відноситься до ламп середньої потужності. Тому система фокусування в даному типі застосовується періодична магнітна, всі переваги та недоліки можна дивитись в попередніх розділах.

– вхідні та вихідні елементи зв'язку: даному діапазоні частот найдоцільніше на вхід подавати сигнал через хвилевід. Елементи зв'язку будуть у вигляді антен, що утворені спіраллю системи уповільнення зі змінним кроком. На виході система зв'язку аналогічна вхідній.

– колектор має вигляд звичайного металічного стакану з виводами та радіатором для охолодження.

– гармата: в ЛБХ середньої потужності використовують звичайну трьохелектродну гармату. Нижче будуть описані всі нюанси використання даного типу гармати та її розрахунок.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Розрахунок гармати ЛБХ

В лампах біжучої хвилі середньої потужності використовують гармати, які формують збіжний електронний пучок з однаковою швидкістю та густиною, такі пучки називають аксиально-симетричними. Звичайно, властивості пучків можуть відрізнятись в залежності від виду та параметрів ЛБХ. Наприклад в спіратронах використовують полий пучок, так як по осі лампи розташований електрод [1].

Форма пучка, густина електронів по перетину та вздовж пучка, а також швидкість електронів в ньому значно впливають на параметри ЛБХ. Для того щоб відбувалась ефективна взаємодія біжучої хвилі з електродами потрібно формувати електронний пучок з мінімальними розходженнями його параметрів по перетину, а також по довжині. Властивості електронного пучка визначають дуже важливий параметр ЛБХ, а саме коефіцієнт шуму.

Для формування електронного пучка з такими параметрами використовують, в основному, гармату Пірса. Найпростіший варіант такої гармати показаний на рис.3.1. Для вхідних ЛБХ використовують більш складні гармати з двома та більше анодами, які задовольняють вимоги максимальної однорідності пучка. У вихідних ЛБХ теж може змінюватись конструкція гармати для підвищення струму пучка і відповідно вихідної потужності лампи.

В нашому випадку маємо ЛБХ середньої потужності, тому нас задовольняє звичайна трьохелектродна конструкція гармати.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

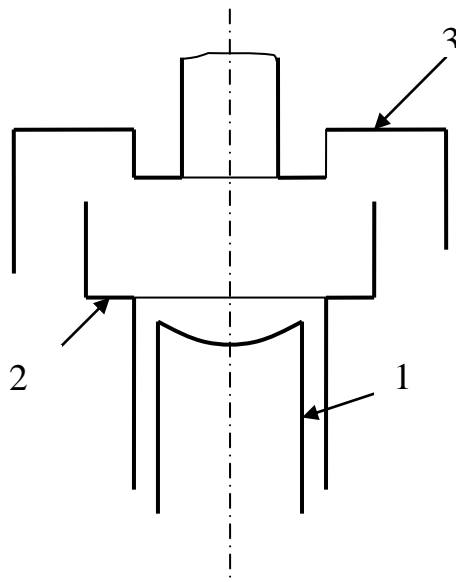


Рисунок 3.1 – Гармата Пірса:

1 – катод; 2 – управляючий електрод; 3 – анод

Параметри електронного пучка, який задовольняє вимоги для параметрів лампи:

- струм пучка  $I = 75 \text{ мА}$ ;
- мінімальний перетин пучка  $r_{\min} = 0,3 \text{ см}$ ;
- густина струму з катоду  $j_k = 0,05 \text{ А/см}^2$ .

Знаючи вихідну потужність та ККД можна розрахувати напругу, яка подається на анод,  $U_a$ :

$$U_a = \frac{P}{I \cdot \text{ККД}} = \frac{100 \text{ Вт}}{75 \text{ мА} \cdot 0,2} = 2000 \text{ В}$$

Визначимо характерну провідність пучка (первіанс),  $K$ :

$$K = \frac{I}{U^{3/2}} = \frac{75 \text{ мА}}{(2000 \text{ В})^{3/2}} = 8,385 \cdot 10^{-7} \text{ А/В}^{3/2}$$

Знайдемо коефіцієнт стиснення за струмом,  $C_j$ :

$$C_j = \frac{I}{\pi \cdot r_{\min}^2 \cdot j_k} = \frac{75 \text{ мА}}{\pi \cdot (0,3 \text{ см})^2 \cdot 0,1 \text{ А/см}^2} = 2,653$$

Коефіцієнт стиснення за радіусом,  $C_r$ :

$$C_r = \sqrt{C_j} = \sqrt{2,653} = 1,629$$

Звідки радіус катоду,  $r_k$ ;

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_k = r_{\min} \cdot C_r = 0,3\text{см} \cdot 1,629 = 0,645\text{см}$$

З графіку на рис.3.2. можна знайти відношення радіусів кривизни,  $\frac{\vec{r}_k}{\vec{r}_a}$  :

$$\frac{\vec{r}_k}{\vec{r}_a} = 1,6$$

З таблиці в [1] знаходимо значення функції  $(-\alpha_a)^2 = 0,2968$

Підставив величини  $(-\alpha_a)^2$  та  $K$  в  $\text{мкА/В}^{3/2}$  у формулу для знаходження кута збіжності отримаємо:

$$\theta \approx 0,37 \cdot \sqrt{(-\alpha_a)^2 \cdot K} = 0,37 \cdot \sqrt{0,2968 \cdot 0,8385} = 0,592\text{рад}$$

$$\theta = 33,938^\circ$$

Знаючи кут  $\theta$  можна знайти:

$$\vec{r}_k = \frac{r_k}{\sin \theta} = \frac{0,645\text{см}}{\sin 0,592\text{рад}} = 1,155\text{см}$$

Таким чином основні геометричні розміри гармати були визначені. Використовуючи ці величини, можна виділити положення мінімального перетину електронного потоку та геометрію фокусуючих електродів.

Із графіка на рис.3.3 видно, що при  $\frac{\vec{r}_k}{\vec{r}_a} = 1,6$  відношення  $\frac{z_{\min}}{\vec{r}_k} = 0,3$  і відповідно:

$$z_{\min} = 0,3 \cdot 1,155\text{см} = 0,347\text{см}$$

Форма фокусуючих електродів вибирається із числа готових варіантів, які наведені в додатку 1 і взяті з [1]. Дані з нього наведені нижче. На рис.3.4 наведена схема, яка характеризує рух збіжного аксиально-симетричного електронного потоку за межами гармати.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



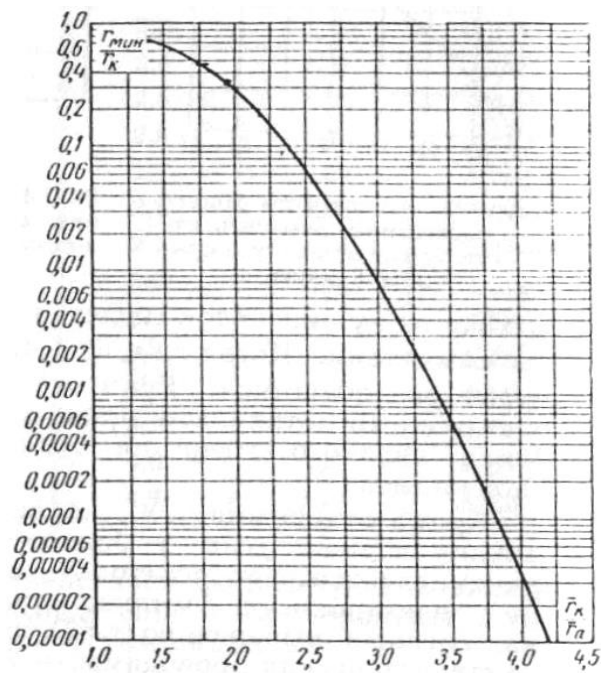


Рисунок 3.2 – Залежність відношення мінімального радіусу потоку до радіусу катоду від відношення радіусів кривизни катоду і аноду гармати.

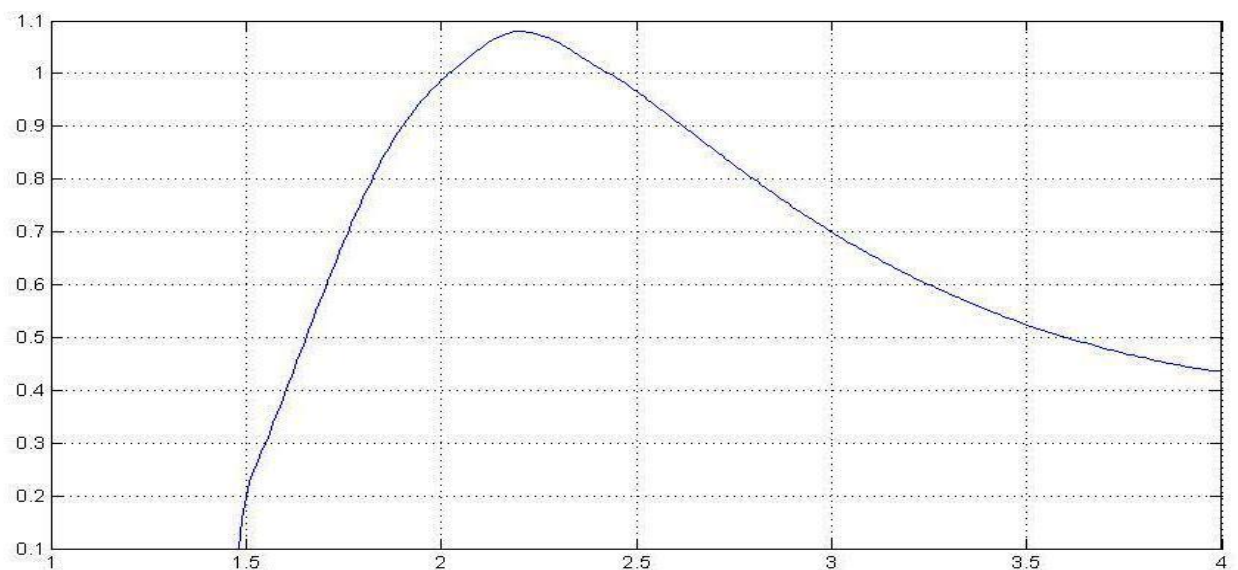


Рисунок 3.3 – Залежність відношення відстані від аноду до мінімального перетину потоку до радіусу кривизни катоду від відношення радіусів кривизни катоду і аноду гармати

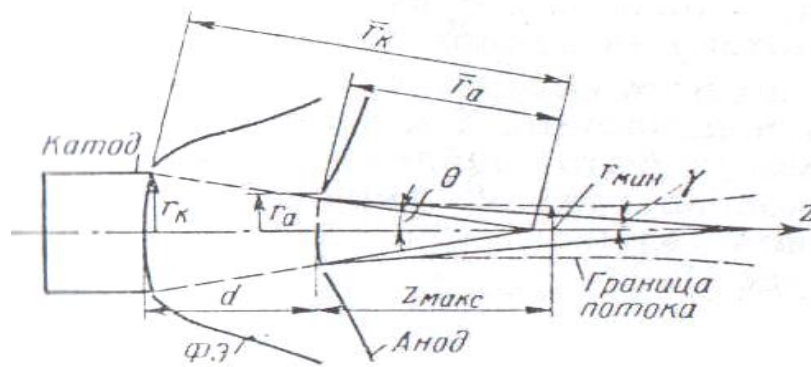


Рисунок 3.4 – Схема, яка характеризує рух електронів збіжного аксиально-симетричного електронного потоку за межами гармати

Знайдемо інші геометричні розміри гармати за допомогою додатку 1:

$$\frac{r_{к.ел}}{r_к} = 1,48, \quad \frac{v}{r_к} = 0,75, \quad \frac{b}{r_к} = 0,16, \quad \frac{L}{r_к} = 0,75, \quad \frac{z}{r_к} = 0,8$$

Звідки:

$$r_{к.ел} = 0,955, \quad v = 0,424, \quad b = 0,103, \quad L = 0,484, \quad z = 0,516$$

Величина  $r_a$  визначається з співвідношення:

$$r_a = 1,1 \cdot r_к \cdot \frac{\vec{r}_a}{r_к} = 0,443$$

А величина  $a$ :

$$a = 1,05 \cdot r_a = 0,677$$

\*Примітка: в тих місцях де не вказані геометричні розміри мається на увазі сантиметри.

### 3.3 Конструкція і параметри катоду

У даному типі ЛБХ в основному застосовуються оксидні термокатоди. Вони забезпечують потрібну емісію і не потребують створення сильних електричних полів для перевищення роботи виходу електронів. Але параметри катоду досить сильно залежать від його форми, матеріалів керну та емісійної ділянки, а також від температурного режиму.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення емісії  $0,1 \text{ A/cm}^2$  потрібно підтримувати температуру  $800 - 850^\circ \text{ K}$ . При такій температурі катод може працювати більш ніж  $10^6$  годин, що є непоганим показником. Для забезпечення надійності, а також гарної роботи оксидного термокатоду потрібно створити у лампі вакуум, що було оговорене в попередніх розділах. Так як при високих температурах домішки, що знаходяться в катоді та газу, що можуть бути в лампі, взаємодіють.

Матеріал емісійної області визначає максимальний струм, що ми можемо отримати з катоду, а також довговічність катоду. В нашому випадку поверхня катоду покривається з суміші потрібного карбонату таких составів (у масовому співвідношенні %):  $\text{BaCO}_3 - 50-55\%$ ,  $\text{SrCO}_3 - 40-45\%$ ,  $\text{CaCO}_3 - 5-3\%$ . Це покриття забезпечує емісійну характеристику з деяким запасом, що підвищує надійність катоду. Самі по собі розмір і форма кристалів карбонатів не впливають на емісійні властивості катоду, але більш крупніші кристали утворюють рихле покриття, яке легше активується. Але в нашому випадку потрібно створювати більш густе покриття, так як воно має більш надійні характеристики та однорідність.

Керн катоду виконується з електричного нікелю. Так як керн катоду може взаємодіяти з оксидним шаром та підвищувати емісійні характеристики, але при сильно активній взаємодії цей процес може призвести до зворотної реакції. Тому в більшості випадків керн катоду виготовляють з пасивних нікелевих сплавів (нікель чистий електричний НЕ, нікель вакуумної плавки  $\text{H}_{\text{BK}}$ , НИВО) або нікель з невеликою кількістю активних присадок – магнія або кальція (НМ, НИКА).

Форма катоду, що використовується в даній ЛБХ показана на рис.3.5.

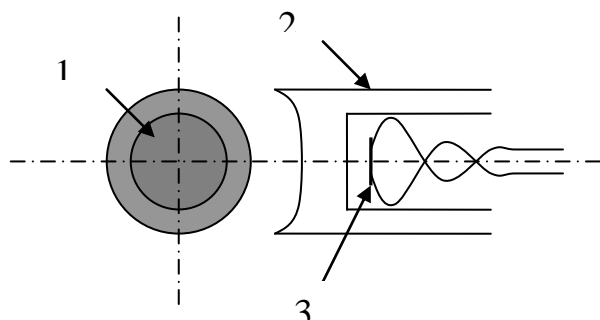


Рисунок 3.5 – Форма оксидного катода, що використовується в даному типі ЛБХ: 1 – емісійна область; 2 – керн; 3 – нагрівна спіраль

Для підігріву катода використовують спіраль, яка розміщується близько біля внутрішньої стінки емісійної області катода. В якості матеріалу спіралі використовують високоомні речовини, найчастіше вольфрам.

### 3.4 Розрахунок уповільнюючої системи ЛБХ

Проектування ЛБХ що забезпечує в середній частині діапазону 7,5÷15 ГГц, тобто на хвилі  $\lambda=2,5$  см при прискорюючій напрузі 750 В, підсилення по потужності 40 дБ.

Проектування почнемо з вибору умовного кута прольоту  $\xi_{a0}$ , величину котрого приймемо за 1,6. Тоді за формулою знайдемо величину середнього радіусу уповільнюючої спіралі:

$$a = 3.14 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda \cdot \zeta_{a0} \sqrt{U_0} = 0.0344 \text{ см}$$

Далі визначимо крок спіралі

$$h = 39.6 \frac{a^2}{\lambda(0.310 + 0.925 \cdot \zeta_{a0})(0.72 + 0.06 \cdot \zeta_{a0})} = 0.0128 \text{ см}$$

Величину діаметру проволочки знайдемо беручи до уваги, що  $d_g/h < 0.5$ , тоді  $d=0.5 \cdot h=0.0064$  см. Вибираємо найближчий стандартний діаметр проволочки  $d=0.01$  см. Для Знаходження радіусу зовнішнього провідника (екрану) уповільнюючої системи використаємо залежність  $R < \lambda_{\min}/4$ . Мінімальна довжина в заданій полосі 2 см. Тому  $R < \lambda_{\min}/4=0,5$  см і можна взяти  $R=0.4$  см.

Робоча довжина уповільнюючої системи визначається за формулою:

$$l_1 = 1.98 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \sqrt{U_0} \frac{23 + G}{54.6 \cdot C \cdot x_2}$$

У даному виразі невідомі величини  $G$  і  $x_2$ . Величина параметру підсилення рівна

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C = \left( \frac{W \cdot I_0}{4 \cdot U_0} \right)^{1/3},$$

де  $W$  і  $I_0$  – хвильовий опір і струм системи.

Значення хвильового опору знайдемо на основі кривих показаних на рис.3.6, задавшись відношенням радіусу потоку  $b'$  до середнього радіусу спіралі  $a$ . Приймаючи  $b'/a=0.5$  отримаємо величину хвильового опору  $W=9.67 \cdot C/v_0=178.6$  Ом. Що ж відноситься до струму  $I_0$ , то вибрана густина струму  $j_0=50$  мА/см<sup>2</sup>, за наступною формулою отримали для  $b'=0.5 \cdot a = 0.0275$  см;  $I_0=\pi b'^2 j_0=1.2 \cdot 10^{-4}$  А.

Знайдені значення  $W$  і  $I_0$  дають наступну величину параметру підсилення:  $C=0.0192$ .

Визначимо  $x_2$ . На основі формули величина параметра  $A$ , визначаюча характеристичне рівняння методом основ, задається виразом

$$A = - \frac{(4QC)^3}{(1 - F_{0med})^2}$$

В приведенному виразі невідомі величини  $4Q$  і  $F_{0med}$ . Перша знаходиться з кривих рис.3.7. Для прийнятих значень  $\xi_{a0}=1.6$  і  $b'/a=0.5$  маємо  $4Q=7.2$ . Величина  $F_{0med}$  визначається виразом:  $F_{0med} = (4QC^3)/a_p^2$ .

В цьому виразі величина

$$a_p = \frac{\omega_p}{\omega} = 0.0273$$

Підставляючи величини  $4Q$ ,  $C$  і  $a_p$  у вираз для  $F_{0med}$ , отримаємо  $F_{0med}=0.0686$ . І повертаючись до визначення параметру  $A$  знайдемо, що  $A=-0.0030$ .

Розв'язуючи кубічне рівняння  $Z^3 + AZ - A = 0$ , яке має 3 корені наступного виду

$$Z_1 = -0.1512$$

$$Z_{2,3} = -\frac{Z_1}{2} \pm jZ_1\alpha$$

знаходимо, що:  $Z_1 = -0.1512$  і  $\alpha = 0.8660$ .

Для синхронізму  $b_0$  і

$$q/p = -\frac{1 - F_{0med}}{4QC} = -6.7362$$

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовуючи знайдене значення  $q/p$ , отримаємо  $x_2 = \frac{q}{p} Z_1 \alpha = 0.8820$ . Тепер відомо всі величини, що входять у вираз для  $l_1$ . Підставляючи їх отримаємо

$$l_1 = 1.98 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5 \sqrt{750} \frac{23 + 40}{54.6 \cdot 0.0192 \cdot 0.882} = 14.7750 \text{ см}$$

Вхідна частина повинна бути більшою ніж 1.5 см, виберемо її довжину 5 см. Довжина поглинаючої вставки 10 см, тоді загальна довжина уповільнюючої системи 20.5 см.

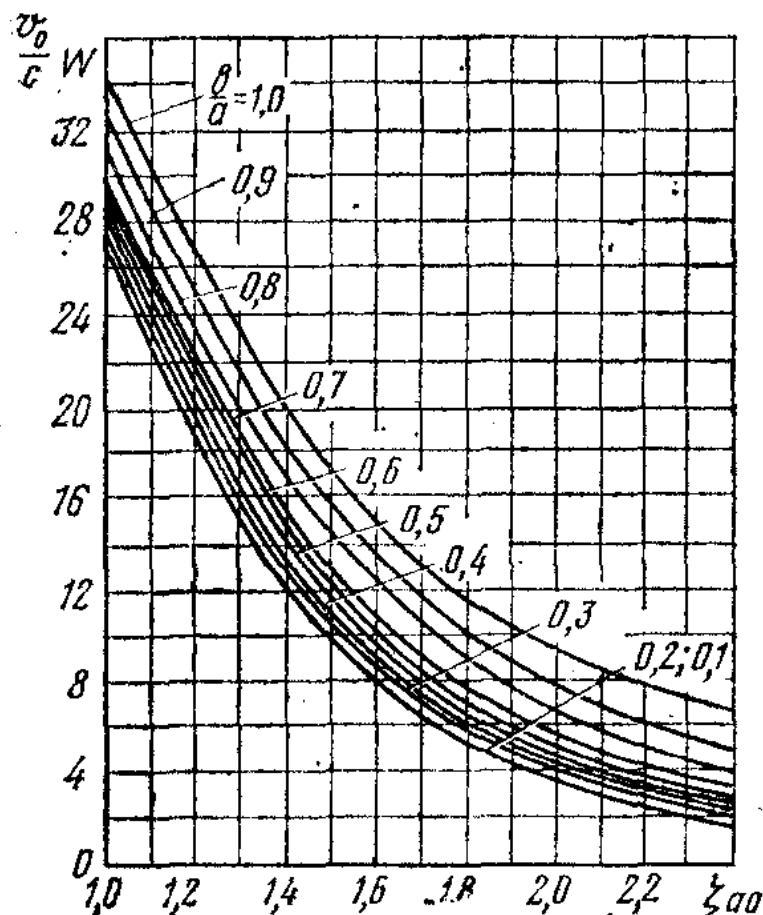


Рисунок 3.6 – Криві для знаходження хвильового опору уповільнюючої систем

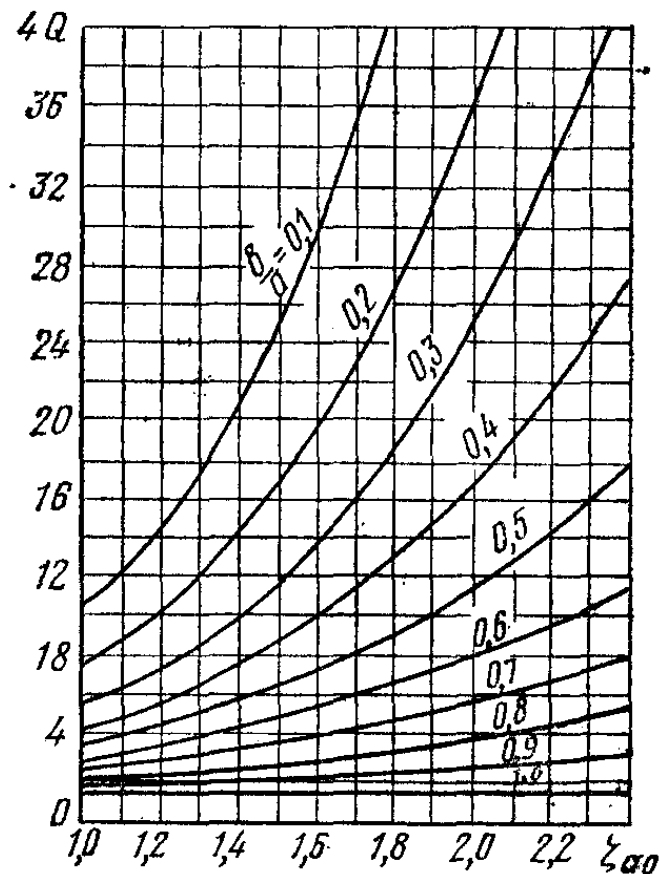


Рисунок 3.7 – Криві, визначаючи  $4Q$  як функцію кута  $\xi a_0$  для різних значень відношень  $b'/a$

### 3.5 Характеристики та конструкція уповільнюючої системи

Спіральні уповільнюючі системи доцільно використати в широкополосних підсилювачах і широкодіапазонних генераторах. Особливо велике застосування вони знайшли в широкополосних підсилювачах малої потужності, тому що відсутність дисперсії на нульовій просторовій гармонії в широкому діапазоні частот ставить спіраль поза конкуренцією з іншими типами уповільнюючих систем.

Використаються різні типи спіральних уповільнюючих систем: однозахідна й двухзахідна спіралі, концентричні спіралі й т.д.

Але технологічні процеси виготовлення й кріплення спіральних систем різних типів мають багато загального. Тому нижче процеси виготовлення й кріплення спіральних систем не підрозділяються й описані стосовно до найпоширенішого класу – одиночним спіралям.

Виготовлення спіралей [7].

Спіралі для уповільнюючих систем, виготовляються з молібденового, вольфрамового й іншого дротів діаметром від 0,03 до 0,5 мм. Дріт для спіралей надходить у виробництво в не-відпаленому стані, покрита аквадагом. Аквадаг використовується як змащення для зменшення тертя між стінками фільтери й простягає проволокою, а надалі є гарним захисним засобом, що охороняє дріт від окислювання при зберіганні.

Аквадаг віддаляється шляхом обробки дроту 20%-ним розчином їдкого натру (NaOH). Для зняття нагартовки, видалення слідів, що залишилися, аквадагу й відновлення окислів дріт піддається термічній обробці. Відпалювання проводиться в атмосфері зволоженого водню при температурі, обумовленої фізико-хімічними властивостями металів (молібден 1000—1100°C, вольфрам 1200°C). Час відпалювання залежить від діаметра дроту й установлюється експериментально.

В деяких випадках для підвищення поверхневої провідності вольфрамовий і молібденовий дроти покриваються сріблом. Сріблення рекомендується проводити шляхом послідовного застосування гарячого й гальванічного способів. При гарячому срібленні покривається проволока, що, пропускається з певною швидкістю через розплавлену краплю срібла. Покриття утвориться в результаті змочування Поверхні дроту розплавом срібла. Цим способом можна одержати покриття товщиною близько 0,5 мкм. Дріт, отриманий після гарячого сріблення, пропускається через гальванічну ванну, і піддається гальванічному срібленню. Після гальванічного сріблення дріт очищається, відпалюється й пропускається через алмазну фільтеру для одержання більше гладкого покриття.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Навивка спіралей пов'язана з певними труднощами через винятково високі вимоги до точності кроку (допуск від 1 до 5 мкм при величині кроку 0,15-0,6 мм). Спіралі навиваються на молибденові правлення на спеціальних верстатах або за допомогою плашок на звичайних токарно-гвинторізних годинних верстатах. При використанні спеціальних верстатів крок спіралі задається відносним переміщенням обертового оправлення й напрямної для дроту. При використанні токарно-гвинторізних верстатів крок спіралі задається за допомогою плашки (рис. 3.8), що має внутрішню гвинтову нарізку. Спосіб намотування спіралей за допомогою плашок мало виробничий, однак у лабораторних умовах й в умовах дрібносерійного виробництва він може виявитися більше зручним і забезпечити більшу точність, чим інші способи.

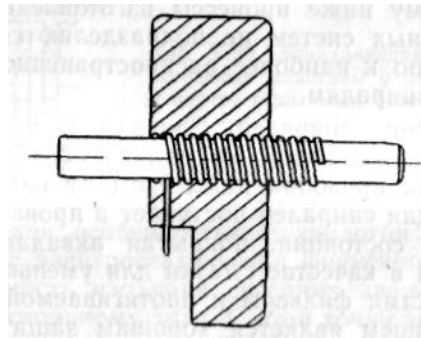


Рисунок 3.8 – Плашка для навивки спіральних систем, що сповільнюють, на токарно-гвинторізних годинних верстатах

Звичайно для навивки спіралей застосовуються гладкі оправлення. Однак при дуже твердих допусках по кроці можуть застосовуватися оправлення із гвинтовою нарізкою. Знімання спіралей з таких оправлень значно ускладнюється.

У деяких роботах пропонується пристрій для навивки спіральних систем, що сповільнюють, ЛБХ, у якому для калібрування по кроці використаний інструмент із гвинтовою поверхнею. З метою зменшення розкиду кроку спіралі інструмент, що калібрує, виконаний у вигляді короткого відрізка спіралі, намотаної виток до витка, або із зазором, рівним товщині навиває проволочки, що.

Навиті спіралі піддаються знежиренню, очищенню й формувальному відпалюванню, за допомогою якого знімаються напруги, що виникли в результаті

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навивки. При цьому необхідно враховувати, що при формувальному відпалюванні знімаються не всі напруги. Частина напруг, що виникають між окремими кристалітами (напруги другого роду) і між окремими осередками в кожному кристаліті (напруги третього роду) залишається не знятої. Це приводить до збільшення діаметра й кроку спіралі після звільнення її від оправлення. У зв'язку із цим необхідно задавати при навивці діаметр оправлення й крок спіралі нижче номінальних значень, що відповідають розмірам готової спіралі. Діаметр оправлення й крок, що задає при навивці, необхідно підбирати експериментально. Самі більші залишкові напруги в срібляній вольфрамового й молибденового дротів (через низьку температуру відпалу, що становлять, приблизно,  $800^{\circ}\text{C}$ ). Збільшення кроку спіралі (у мікронах) під дією залишкових напруг становить приблизно:

для спіралей з вольфраму вкритого сріблом 10 – 20;

для спіралей з молибдену вкритого сріблом 5 – 10;

для спіралей з вольфраму 3 – 8;

для спіралей з молибдену 1 – 3.

Способи кріплення уповільнюючих спіральних систем.

Для забезпечення стабільності електричних параметрів приладу спіральні системи, що сповільнюють, повинні бути надійно закріплені. При цьому елементи кріплення, що безпосередньо прилягають до спіралі, повинні мати низьку діелектричну проникність і малий тангенс кут діелектричних втрат.

Найбільш простий спосіб кріплення системи, що сповільнює, показаний на рис. 3.9,а. Спіраль кріпиться за допомогою трьох (іноді чотирьох) діелектричних стрижнів, закріплених металевими пасками. У загальному випадку вібростійкість такої конструкції забезпечується за рахунок сил тертя між її окремими елементами й у зв'язку із цим є не дуже високою. Для підвищення твердості системи, що сповільнює, ЛБХ пропонується після накладання на спіраль центруючих керамічних стержнів, обмотувати їх зовнішньою додатковою спіраллю з молибдену або мідно-нікелевого сплаву. Додаткова спіраль повинна

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мати крок, у три рази перевищуючий крок основної спіралі, і зворотний напрямок намотування.

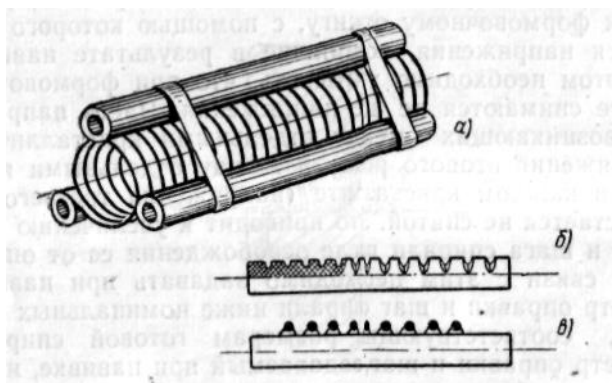


Рисунок 3.9 – Кріплення спіральної системи, що сповільнює, за допомогою діелектричних стрижнів і металевих пасків: а – зібраний вузол; б – діелектричний стрижень із пазами для витків спіралі; в – закріплення витків спіралі за допомогою глазурі або цементу

Вібростійкість конструкції може бути також значно підвищена шляхом закріплення кожного витка спіралі за допомогою поперечних пазів, прорізаних в одному з діелектричних стрижнів (рис. 3.9,б).

Також, в деяких роботах описують діелектричний стрижень для кріплення спіральної що сповільнює системи в ЛБХ і ЛЗХ. Стрижень постачаний гвинтовими або гребінчастими виступами із кроком по гвинті (або гребеню), рівним або кратним кроку спіралі.

Ще більше вібростійка конструкція може бути отримана при закріпленні кожного витка спіралі за допомогою глазурі або цементу. Для цього на поверхню одного або декількох стрижнів при зборці наноситься тонкий шар глазурі або цементу. Після відповідної термічної обробки кожен виток спіралі виявляється міцно з'єднаним зі стрижнем за рахунок сил адгезії (рис. 3.9,в). Більше щільний контакт між діелектриком і спіраллю підвищує вібростійкість конструкції й поліпшує відвід тепла від спіралі за рахунок теплопровідності.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

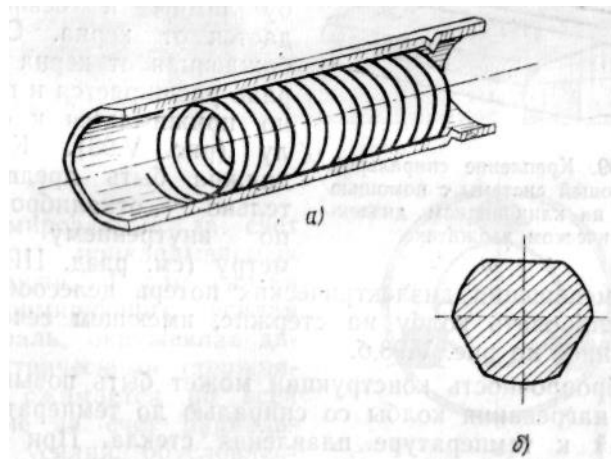


Рисунок 3.10 – Кріплення спіральної системи, що сповільнює, у лампі голчастої конструкції (а) і перетин стрижня для калібрування колби (б)

Метод виготовлення твердої уповільнюючої системи, типу багатозахідна спіраль має свої переваги і недоліки. Спіраль із вольфраму, молібдену, платини, срібла, міді або золота намотується у відповідні пази алюмінієвого оправлення. Потім на спіраль плазмовим методом наноситься шар ізолятора (скла, окису алюмінію, окису цирконію й т.д.) товщиною близько 0,8 мм. Місця, де не повинне бути покриття, закриваються маскою з листового алюмінію. Після нанесення скріпні витки спіралі ізоляційного шару оправлення й маска віддаляються за допомогою концентрованого розчину їдкого натру або соляної кислоти. Цим способом вдається виготовляти дуже тверді й вібростійкі уповільнюючі системи, які витримують навантаження до 150g.

Іноді прагнуть до зменшення поперечних розмірів конструкції для одержання максимальної напруженості магнітного поля на осі приладу при мінімальній вазі магнітної системи. У цьому випадку доцільно використати для кріплення спіралі безпосередньо стінки колби (так називана голчаста конструкція ЛБХ). Спіраль стискується шляхом намотування на kern меншого діаметра, уставляється в колбу лампи й звільняється від керна. Звільнена від керна спіраль розширюється й пліт але притискається до скла (рис. 3.11). Колба повинна бути попередньо відкалібрована. За внутрішнім діаметром. Для зменшення діелектричних втрат доцільно калібрувати колбу на стрижні, що має перетин, показаний на рис.3.11.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

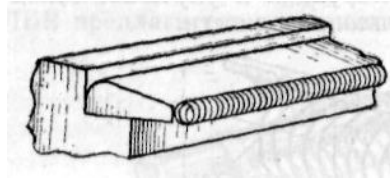


Рисунок 3.11 – Кріплення спіральної системи, що сповільнює, за допомогою глазури на клиноподібному діелектричному тримачі.

Вібростійкість конструкції може бути підвищена шляхом нагрівання колби зі спіраллю до температури, близької до температури плавлення скла. При цьому кожен виток спіралі вдавлюється в скло на незначну глибину (менш 0,1 мм) і надалі міцно втримується на місці.

Оригінальний спосіб кріплення спіралі для ЛБХ міліметрового діапазону (внутрішній діаметр 0,4 мм): спіраль припаяна глазуру до ребра діелектричного клина із сапфіра, що у свою чергу притиснутий до масивного мідного блоку рис.3.11. Завдяки гарному тепловому контакту, забезпечуваному за допомогою глазури, і високої теплопровідності сапфіра, тепло, виділюване на спіралі, ефективно приділяється до мідного блоку.

Конструкція, характерна для металокерамічних ЛБХ, у яких спіральна лінія, що сповільнює, закріплюється усередині металевого циліндра. Схема кріплення показана на рис.3.12. При збірці приладу спіраль із трьома діелектричними стрижнями уставляється в металевий циліндр, деформований за рахунок зусиль, що прикладають зовні. Після зняття деформуючих зусиль спіраль, оточена діелектричними стрижнями, стискується по всій довжині за рахунок радіальних зусиль, обумовлених пружними властивості мі металевого циліндра. Циліндр може бути виготовлений з молібдену, сталі й деяких інших металів. Для зменшення діелектричних втрат і для поліпшення тепло відводу до стінок металевого циліндра доцільно використати діелектричні тримачі, клиноподібної форми.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

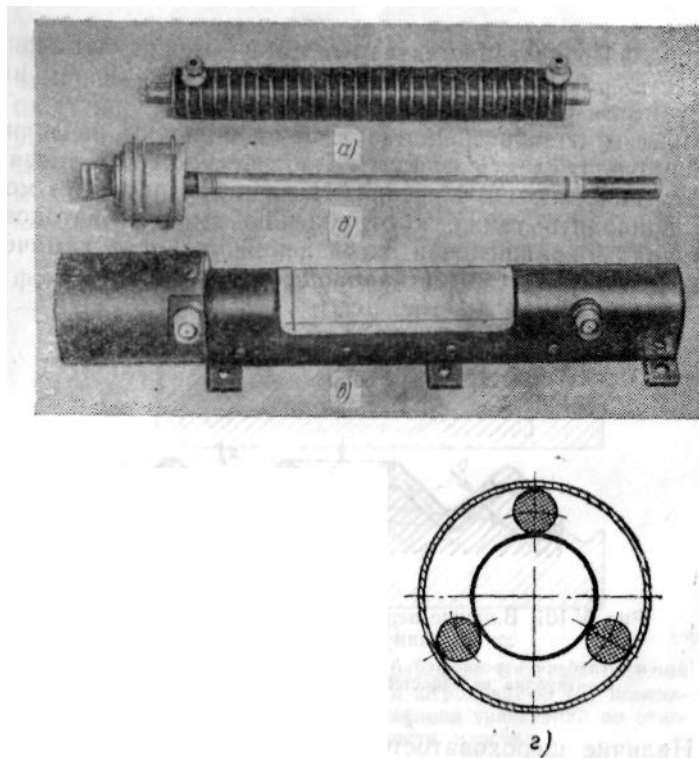


Рисунок 3.12 – Металокерамічна ЛБХ: а — магнітна фокусуюча система; б — вакуумна частина приладу; в — прилад у зібраному виді; м – перетин металічної трубки із закріпленою в ній спіральною системою, що сповільнює

### 3.6 Висновки до розділу

Розроблено конструкцію ЛБХ середньої потужності, яка забезпечує в середині діапазону 7,5÷15 ГГц ( $\lambda=2,5$  см) при прискорюючій напрузі 750 В, підсилення по потужності 40 дБ.

1. Система уповільнення у вигляді спіралі:

- крок спіралі  $h=0,0128$  см;
- діаметру проволочки спіралі  $d=0.0064$  см.
- радіусу зовнішнього провідника (екрану)  $R=0.4$  см;
- довжина уповільнюючої  $l=14,7750$  см;

2. Система фокусування періодична магнітна, бо ЛБХ середньої потужності;

3. Вхідні та вихідні елементи зв'язку через хвилевід, всередині ЛБХ – антенний спіраллю системи уповільнення зі змінним кроком.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Колектор: металевий стакан з виводами та радіатором для охолодження.
5. Гармата: трьохелектродна з оксидним термокатодом ( $\text{BaCO}_3$  – 50-55%,  $\text{SrCO}_3$  – 40-45%,  $\text{CaCO}_3$  – 5-3%) [6].

Параметри електронного пучка, який задовольняє вимоги для параметрів лампи:

- струм пучка  $I = 75 \text{ мА}$ ;
- мінімальний перетин пучка  $r_{\min} = 0,3 \text{ см}$ ;
- густина струму з катоду  $j_k = 0,05 \text{ А/см}^2$ .
- напруга анода  $U_a = 2000 \text{ В}$ ;
- радіус катода  $r_k = 0,645 \text{ см}$ .

Вибір компонентів ЛБХ базується на параметрах, які наведені в завданні.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Для отримання мінімального коефіцієнту шуму необхідно щоб потік електронів мав мінімальні розходження по густині та по швидкості. Основним джерелом шуму в ЛБХ являються шуми, зв'язані з хаотичним характером емісії електронів з катоду. Використанням спеціального виду гармати, яка дозволяє шляхом підбору напруг на електродах отримати потрібний закон зростання електричного поля вздовж гармати, вдається мінімізувати шуми ЛБХ.

Найдоцільніше у ЛБХ, працюючих в діапазоні 500 – 15000 МГц, використовувати систему уповільнення електромагнітної хвилі у вигляді спіральної коаксіальної лінії з внутрішньою трубкою арматури та спіраллю, виготовленою з металічного проводу. Така конструкція дає змогу зберегти ефективну взаємодію електронного потоку з НВЧ полем в широкому діапазоні частот.

Система фокусування електронного потоку доцільніше виготовляти у вигляді соленоїда, це підвищує стійкість ЛБХ до теплових та механічних перенавантажень.

Балон ЛБХ доцільніше виробляти з кераміки, що підвищує експлуатаційні характеристики ЛБХ: стійкість до механічних та температурних впливів.

Основними параметрами ЛБХ є коефіцієнт підсилення, діапазон робочих частот, коефіцієнт шуму, максимальна вихідна потужність.

Коефіцієнт підсилення не являється постійною величиною як для серій ЛБХ одного типу, так і для кожного екземпляру цього типу. Він залежить від величини вхідної потужності, частоти сигналу, електричного режиму та інших факторів. У сучасних широкополосних ЛБХ, маючих смугу в одну октаву (тобто відношення максимальної до мінімальної частоти дорівнює два), повна нерівномірність підсилення досягає 6 – 8 дБ.

Завдяки використанню нерезонансних систем уповільнення і широкополосних пристроїв узгодження, існуючі типи ЛБХ забезпечують підсилення не менш 20 дБ в смузі частот від  $\pm 5$  до  $\pm 50\%$  середньої частоти.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Однією з перевагою ЛБХ є можливість отримання малого коефіцієнта шуму підсилювача, тобто забезпечення високої чутливості приймачів.

Для отримання мінімального коефіцієнту шуму необхідно добиватись якісного узгодження входу ЛБХ з джерелом сигналу, так як будь-яка неоднорідність, яка відбиває вхідний сигнал, призводить до збільшення коефіцієнту шуму.

В імпульсному режимі живлення ЛБХ неможна значно збільшувати вихідну потужність за рахунок збільшення струму променя в імпульсі, так як це призведе до порушення умов фокусування променя і швидкому виходу ЛБХ із строю.

При експлуатації ЛБХ можуть мати місце порушення таких режимів роботи і правил експлуатації, які можуть значно зменшити час служби ЛБХ: неправильне встановлення напруг електродів, неправильне юстування ЛБХ в магнітному полі, вмикання ЛБХ без фокусуєчого магнітного поля, подача вхідного сигналу при відключеному навантаженні (у ЛБХ з  $P_{\text{вих}} \geq 5$  Вт), робота ЛБХ при виключеній системі охолодження та ін.

Розроблено конструкцію ЛБХ середньої потужності, яка забезпечує в середині діапазону 7,5÷15 ГГц ( $\lambda=2,5$  см) при прискорюючій напрузі 750 В, підсилення по потужності 40 дБ.

1. Система уповільнення у вигляді спіралі:

- крок спіралі  $h=0,0128$  см;
- діаметру проволочи. спіралі  $d=0.0064$  см.
- радіусу зовнішнього провідника (екрану)  $R=0.4$  см;
- довжина уповільнюючої  $l=14,7750$  см;

2. Система фокусування періодична магнітна, бо ЛБХ середньої потужності;

3. Вхідні та вихідні елементи зв'язку через хвилевід, всередині ЛБХ – антенний спіраллю системи уповільнення зі змінним кроком.

4. Колектор: металевий стакан з виводами та радіатором для охолодження.

5. Гармата: трьохелектродна з оксидним термокатодом ( $\text{BaCO}_3 - 50-55\%$ ,  $\text{SrCO}_3 - 40-45\%$ ,  $\text{CaCO}_3 - 5-3\%$ ).

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри електронного пучка, який задовольняє вимоги для параметрів лампи:

- струм пучка  $I = 75 \text{ мА}$ ;
- мінімальний перетин пучка  $r_{\min} = 0,3 \text{ см}$ ;
- густина струму з катода  $j_k = 0,05 \text{ А/см}^2$ .
- напруга анода  $U_a = 2000 \text{ В}$ ;
- радіус катода  $r_k = 0,645 \text{ см}$ .

Вибір компонентів ЛБХ базується на параметрах, які наведені в завданні.

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Молоковский С. И. Электронно-оптические системы приборов сверхвысоких частот / С. И. Молоковский, А. Д. Сушков, – М., Л.: Энергия , 1965. - 232 с.
2. Цейтлин М. Б., Лампа с бегущей волной : (Вопросы и теории расчета) / М. Б. Цейтлин, А. М. Кац., – М., Сов. радио , 1964. - 311 с.
3. Кац, А.М. Сигнал в лампах с бегущей волной : [в 2-х ч.] / А. М. Кац, В. П. Кудряшов, Д. И. Трубецков. - Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, Ч. 1. - 1984. - 144 с.
4. Лошаков Л. Н., Пчельников Ю. Н., Теория и расчет усиления лампы с бегущей волной / Л. Н. Лошаков, Ю. Н. Пчельников. – М., Сов. радио, 1964. - 239 с.
5. Кацман Ю. А., Приборы СВЧ: Теория, основы расчета и проектирования электрон. приборов. [Учеб. для вузов по спец. "Электрон. приборы"] / Ю. А. Кацман. - 2-е изд., перераб. и доп. – М., Высш. Школа , 1983. - 368 с.
6. Кудинцева Г. А. Термоэлектронные катоды / А. И. Мельников, А. В. Морозов, Б. П. Никонов ; Под общ. ред. чл.-кор. АН СССР Н. Д. Девяткова. - Москва ; Ленинград : Энергия, 1966. - 366 с.
7. Силин Р. А., Замедляющие системы / Р. А. Силин, В. П. Сазонов. – М., Сов.радио , 1966. - 632 с.
8. Голант М. Б., Маклаков А. А., Изготовление резонаторов и замедляющих систем электронных приборов / М. Б. Голант, А. А. Маклаков, М. Б. Шур ; Под общ. ред. акад. Н. Д. Девяткова. – М., Сов.радио , 1969. - 408 с.
9. Ванін В. В., Бліюк А. В., Гнітецька Г. О., Оформлення конструкторської документації. Навчальний посібник. – Київ, Каравела , 2003. - 160 с.

					<i>ЗБР 6.050802.041 ПЗ</i>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ЗБР 6.050802.041 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТОК А

Конструкторська документація [9]

Поз. познач	Найменування	Кіл.	Примітка
	Гармата електронна	1	
1	Катод	1	R 6,5
2	Анод	1	R 5
3	Спіраль розжарювання	1	
4	Електрод фокусуєчий	1	R 0,995
5	Корпус	1	600x80
	Система вводу-виводу сигналу	1	
6	Хвилевід вхідний	1	4x5
7	Хвилевід вихідний	1	4x5
	Система уповільнення	1	
8	Спіраль	1	h 4, R 3,6
9	Зосереджений поглинач	1	80 R 5
	Система фокусування	1	
10	Круговий магніт	28	8,05 R 12
11	Втулка	24	2,03 R 9
12	Втулка з рознімом	2	4 R 9
13	Втулка упорна	1	2R 9
14	Колектор	1	
15	Система охолодження	1	

					ЗБР 6.050802.041 Сб			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Радуга А.М.				Лампа біжучої хвилі Відомості		Арк.	Аркушів
Перевірів	Цибульский Л.						1	1
Реценз.								
Н. Контр.	Чадюк В.О.							
Затверд.	Писаренко Л.Д.							
						НТУУ "КПІ" ФЕМ		
						8		

## ДОДАТОК Б

### Параметри гармати ЛБХ

Гармата (Рис. 1) призначена для формування суцільних збіжних потоків при  $\theta \leq 50^\circ$  і відношень радіусів кривизни катоду та аноду  $\frac{r_k}{r_a} = 1,5 \div 10$ .

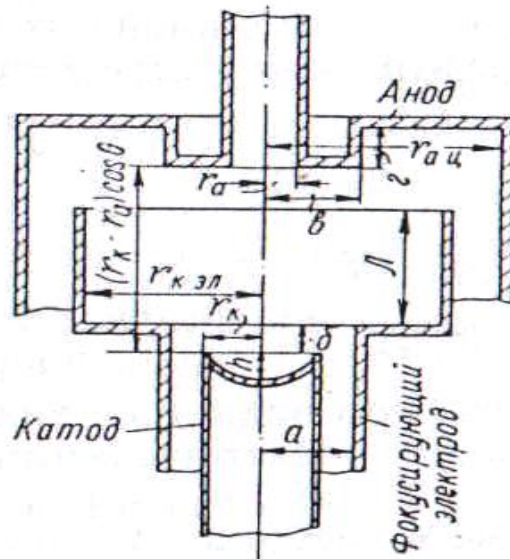


Рисунок 1.

Геометричні розміри даної гармати знаходяться з графіків приведених на рисунках 2÷5. Відношення  $\frac{r_{a.ц}}{r_k}$  може мати любое значення при умові, що воно більше відношення  $\frac{r_{к.ел}}{r_k}$ .

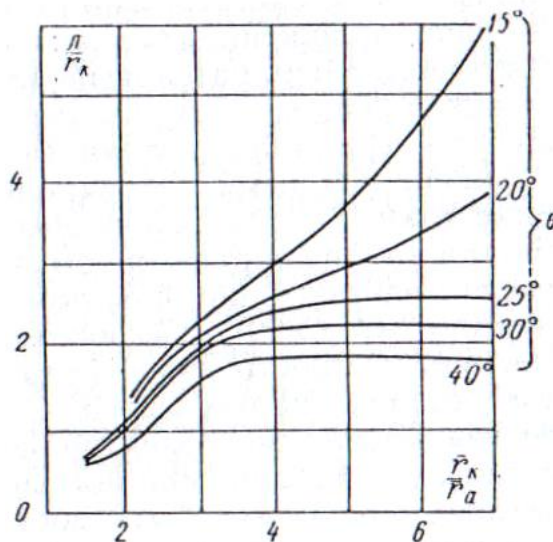


Рисунок 2.

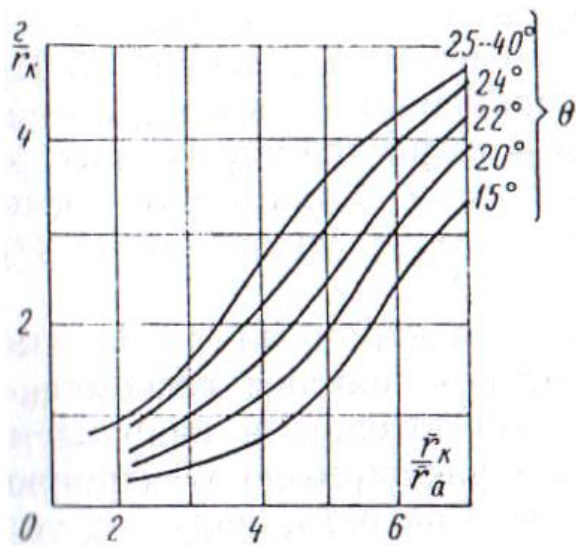


Рисунок 3.

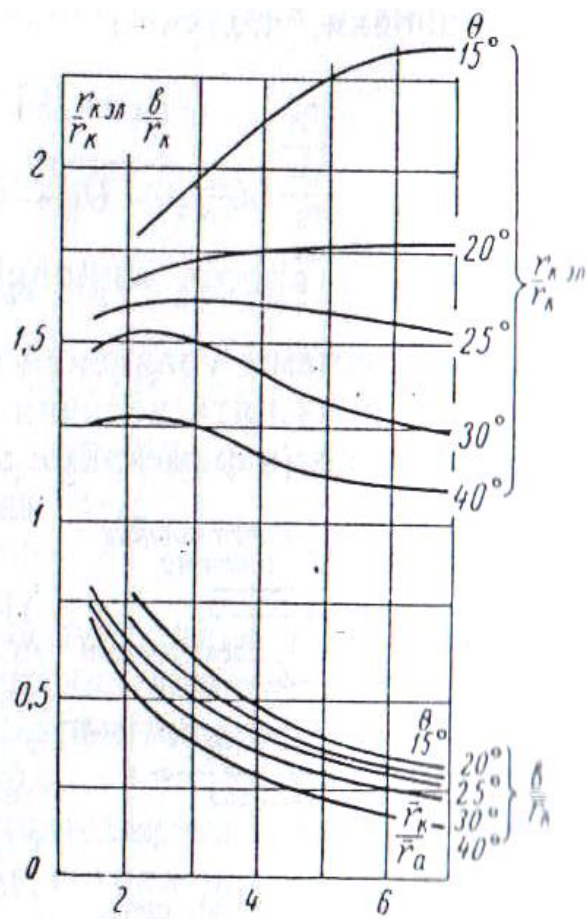


Рисунок 4.



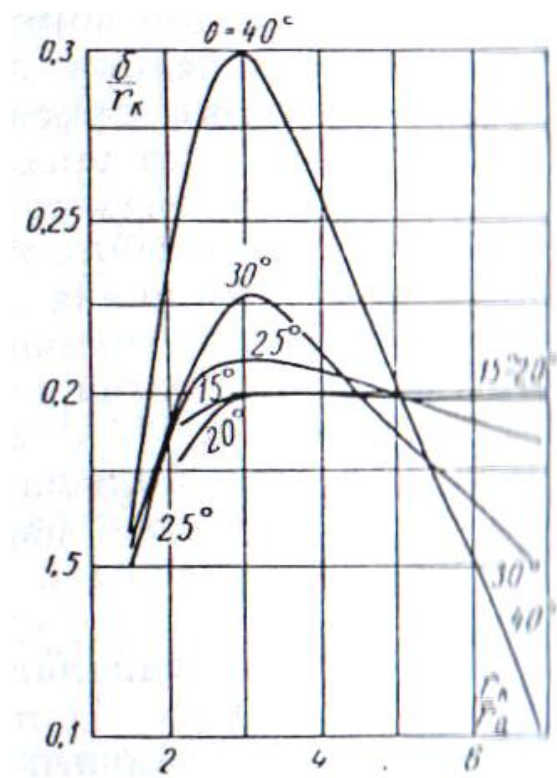


Рисунок 5.

## ДОДАТОК 2

Програмний код на математичній мові програмування MatLab.

```
function lbx(f1,f2,u0,G)
c=3e8;e_a0=1.6;
lambda=c/(f2-f1)*1e2;
a=3.14e-4*lambda*e_a0*sqrt(u0)
h=39.6*(a^2)/(lambda*(0.310+0.925*e_a0)*(0.72+0.6*e_a0))
d=0.01;
W=9.67*3e10/(5.93e7*sqrt(u0))
j0=50e-3
b=0.5*a
I0=pi*b^2*j0
C=(W*I0/(4*u0))^(1/3)
Q4=7.2
a_p=(1.83e10*j0^(1/2)*u0^(1/4))/(2*pi*12.5e10)
F0_med=(Q4*C^3)/a_p^2
A=-(Q4*C)^3/(1-F0_med)^2
Z1=-0.1512
alfa=0.8660
q_p=-(1-F0_med)/(Q4*C)
x2=q_p*Z1*alfa
l1=1.98e-3*lambda*sqrt(u0)*(23+G)/(54.6*C*x2)
l2=20.5-l1
lvx=l1-l0

function func(u0,lambda)
e_a0=1.6;
hold on
```

```

t=size(lambda);
for i=1:t(2)
    a=3.14e-4*lambda(i)*e_a0*sqrt(u0);
    plot(u0,a);
end
grid on
xlabel ('U_0')
ylabel ('a')
hold off

```

```

clearfunction sol(R,r,d,l)
n=l/d
n1=n/100;
alfa=0:2*pi/49:2*pi*n1;
x=R*cos(alfa);
y=R*sin(alfa);
z=0:d/49:d*n1;
plot3(x,y,z)
axis equal
axis off

```

```

function pid(F0_med,C)
t=size(C);
Q4=7.2;
hold on; grid on;
for i=1:t(2)
    A=-(Q4*C(i))^3./(1-F0_med).^2;
    plot(F0_med,A)
end
xlabel ('F_0_m_e_d')

```

ylabel ('A')

hold off

Деякі довідкові залежності, що буди побудовані за допомогою математичного САПР MatLab

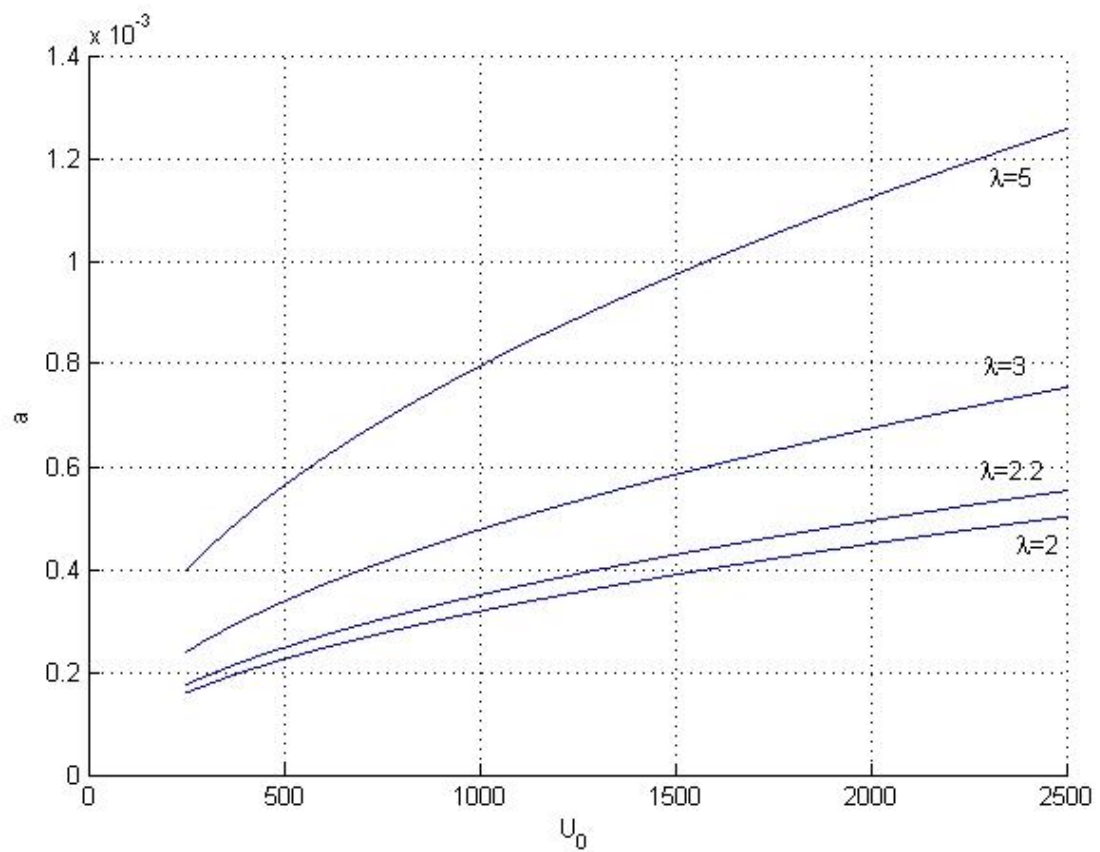


Рисунок 1

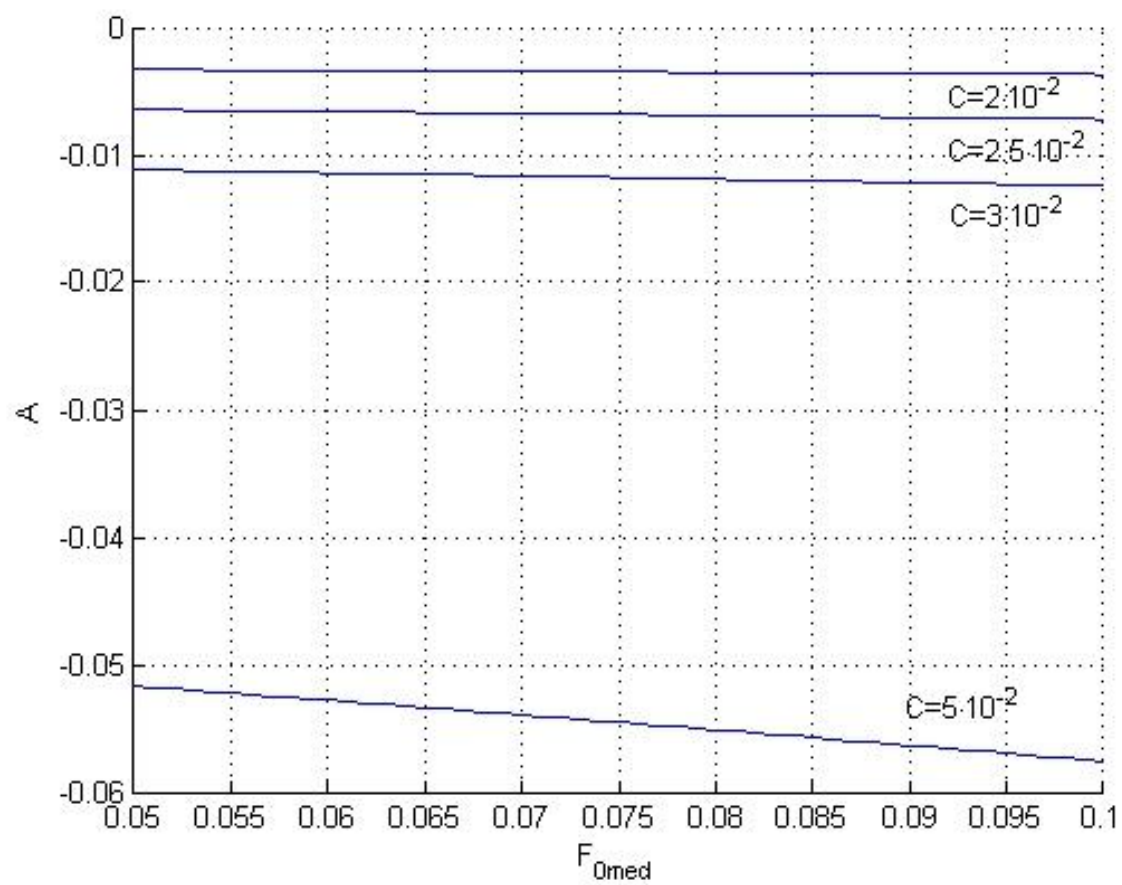


Рисунок 2